N° 20 31 OCTOBRE 1932

Revue générale des Sciences pures et appliquées

Fondateur : Louis OLIVIER (1890-1910) — Directeur : J.-P. LANGLOIS (1910-1923)

Directeur : Louis MANGIN, Membre de l'Institut, Directeur honoraire du Muséum national d'Histoire naturelle

CHRONIQUE ET CORRESPONDANCE

§ 1. — Sciences naturelles.

La genèse des dessins des ailes de papillons.

On a cherché à expliquer par diverses théories la coloration et le dessin des Lépidoptères, mais le plus souvent sans s'inquiéter de l'existence des dispositions matérielles qui permettraient de les appliquer. M. K. Huttrer a essayé de les confronter avec les faits au laboratoire de Przibram, à Vienne[1].

1. Von Gebhardt[2] a considéré les ocelles et les ondulations des ailes de papillons comme des figures de Liesegang; mais il faudrait prouver que les substances qui existent réellement dans les ailes sont capables de produire de telles formations lorsqu'on les fait agir sur du papier ou de la gélatine (en respectant les autres conditions nécessaires à la production de ces figures). Or Huttrer a montré qu'il se forme effectivement des figures de Liesegang dans des essais de ce genre, aux dépens des dérivés du di- et du trioxyphényle, en particulier quand un des groupes OH se trouve en 2 dans le noyau benzénique. On obtient encore des anneaux de Liesegang dans des essais où l'on fait agir la tyrosinase sur du papier-filtre trempé dans la tyrosine ou la dopa. En plissant le support, on peut faire apparaître des dessins analogues à ceux des ondulations marginales des Lépidoptères.

Des modèles de papillons, en papier ou en gélatine présentent, par imbibition d'un ou cinq centres de diffusion, des images qui, par la forme du dessin et la répartition de la coloration, sont tout à fait semblables à celles des originaux.

2. D'après la théorie de la formation du pigment noir par oxydation d'un chromogène au moyen d'une tyrosinase[1], et les stades intermédiaires jaune rouge et rouge observés dans ce cas[2], on devrait s'attendre à une succession analogue de colorations sur l'aile des papillons. M. Huttrer n'a pu observer le fait chez les *Vanessa urticae*, *V. io* et *Pyrameis atalanta*. Au contraire, le pigment rouge ou jaune qui apparaît d'abord est absent des parties de l'aile qui recevront le pigment noir, et ce dernier se développe en ces endroits, d'abord blancs ou jaunâtres, sans transition par des stades intermédiaires. Cependant la production de la mélanine des ailes de Lépidoptères par des processus fermentatifs reste très vraisemblable, à la suite des expériences suivantes : Une injection de tyrosine dans l'ébauche des ailes des pupes de *Vanessa urticae* produit, au 13e jour du sommeil des pupes (celles-ci étant maintenues à une température constante de 20° C.) une série de papillons colorés en noir. Ce résultat semble indiquer un excès de tyrosinase chez cette espèce, car on n'a pu obtenir de noircissement par injection chez *Vanessa io* et *Pieris brassicae*.

3. Comme les pigments jaunes et rouges des es-

1. *Anzeiger der Akad. der Wiss. in Wien*, Mathem.-Naturwiss. Klasse, 1932, n° 15, p. 123, 16 juin.
2. *Verh. der Deutsch. Zool. Ges.*, 1912.

1. O. Furth et H. Schneider : *Hofmeister's Beiträge*, t. I, 1902.
2. H. Przibram et L. Brecher : *Arch. fur. Entw.-Mech.*, t. XLV, 1919.

pèces étudiées ne sont pas des stades préliminaires des mélanines, il y avait lieu de soumettre à un nouveau contrôle l'hypothèse de la Comtesse Linden[1] d'après laquelle ces pigments sont en rapport direct avec certaines substances de la nourriture végétale des chenilles. L'examen microchimique des pigments des écailles de Lépidoptères diurnes appartenant aux genres indigènes les plus importants et à quelques espèces exotiques a donné les résultats suivants : réaction carotinoïde négative; limitation aux Piérides de la réaction positive de la murexide (acide urique); réaction positive à l'*o*-dioxybenzène pour les extraits aqueux des parties jaune clair des ailes des genres *Papilio* et *Thais* et du bord jaune de la *Vanessa atalanta*.

Ces différences ne pouvant s'expliquer par des variations analogues dans l'alimentation végétale des groupes correspondants, les pigments doivent donc être considérés comme des produits spéciaux à chaque insecte.

L. Br.

1. *Arch. f. ges. Physiol.*, t. XCVIII, 1903.

§ 2. — Géographie.

Mission saharienne Augiéras-Draper.

La Société de Géographie vient de décerner, en 1932, une médaille d'or à la mission Augiéras-Draper pour l'important voyage d'exploration qu'elle a accompli pendant l'hiver 1927-1928 à travers le Sahara du Hoggar au Sénégal, et au cours de laquelle elle a porté ses études sur de très nombreuses branches scientifiques, sur la géographie, l'astronomie, la météorologie, l'ethnographie, la préhistoire, la zoologie, la botanique et la géologie. Le chef de la mission était le capitaine Augiéras, de la compagnie saharienne du Hoggar, et M. W.-P. Draper, son adjoint. De nationalité américaine, celui-ci avait été capitaine d'artillerie pendant la guerre. Précédemment, M. le capitaine Augiéras avait déjà fait de nombreuses études géographiques dans l'ouest du grand désert.

Le capitaine Augiéras s'est surtout consacré à la géographie et M. Draper à l'anthropologie et à la préhistoire. D'autres membres de la mission se sont occupés, M. Gierzynski de la météorologie, M. V. Besnard de la géologie, et M. Th. Monod de la zoologie et de la botanique.

Partie d'Alger, la mission atteignit, le 24 octobre 1927, Tamanrasset, dans le Hoggar, puis gagna Bourem, au sud de Tombouctou, par un chemin détourné. A Tombouctou, les voyageurs se séparèrent en deux groupes : l'un qui gagna la côte de l'Atlantique par la vallée du Niger; l'autre, conduit par M. Draper, qui fit une reconnaissance dans une région peu connue du Sahara en passant par Araouane, Oualata et Nioro, et qui atteignit le Sénégal à Kayes.

Une découverte extrêmement intéressante fut faite, le 20 décembre 1927, par deux naturalistes de la mission, MM. Besnard et Monod, du Muséum de Paris, à Asselar, entre Tombouctou et Tamanrasset; ce fut celle du squelette d'un homme fossile. C'est le premier qui ait été découvert au Sahara et même dans toute la zone de l'Afrique située au nord de l'Equateur, sauf que quelques ossements ont été trouvés en Algérie, dans la région de Constantine. Cette découverte nouvelle faite à 400 kilomètres au nord-est de Tombouctou, c'est-à-dire en plein Sahara, offre un très haut intérêt. Le Sahara, le Soudan, l'Afrique centrale, l'Egypte, n'avaient jamais donné rien de semblable.

Il a pu être bien établi que cette fossilisation se rattache bien à un terrain antérieur à l'époque géologique actuelle. On a estimé que son âge géologique pouvait remonter au moins au pléistocène ou au paléolithique supérieur. Ce doit bien être un homme, et sa taille a pu être d'environ 1 m. 75, avec de grandes jambes et des bras très longs. Son âge devait être d'une cinquantaine d'années. Le crâne, assez développé, est dolichocéphale.

Jusqu'à présent on n'avait estimé qu'à 14 seulement le nombre d'êtres humains dont on avait trouvé des restes fossiles en Afrique. Il a été très curieux d'observer que ce nouvel homme retrouvé a des caractères négroïdes accusés et qu'il n'a aucun rapport avec les races noires actuelles de l'Afrique occidentale; il rappellerait plutôt les Hottentots de l'Afrique du sud.

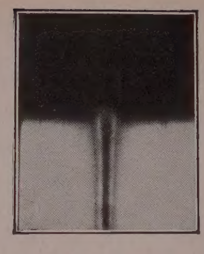
Le squelette découvert a été offert à l'Institut de paléontologie humaine, par M. Draper, au nom de la mission entière[1].

Gustave Regelsperger.

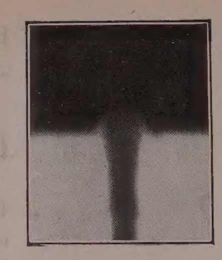
1. De précédentes informations avaient été données par M. Th. Monod, docteur ès siences, assistant au Muséum, sur la *Mission saharienne Augiéras-Draper, 1927-1928*, dans *L'Afrique Française*, 1928, p. 234-235. — D'autres ont été plus récemment données, aussi dans *L'Afrique Française*, août 1932, p. 483-484, où un article, signé J. L.-L., a été consacré à la *Découverte d'un homme fossile au Sahara*. — Le *Rapport* sur le prix décerné par la Société de Géographie, a été mentionné dans *La Geographie*, juillet-août 1932, p. 93 : *Mission Augiéras-Draper, Médaille d'or de la Société de Géographie, M. G. Grandidier, rapporteur.*



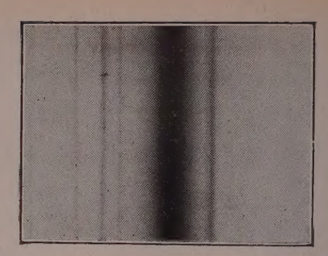
1. — Raie K sur le disque [1].



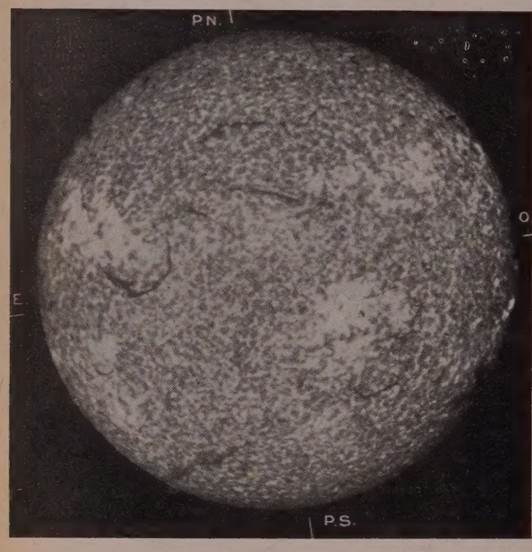
2. — Raie K au bord solaire.



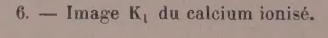
3. — Raie H_{α} au bord solaire.



4. — Raie H_{α} sur le disque.

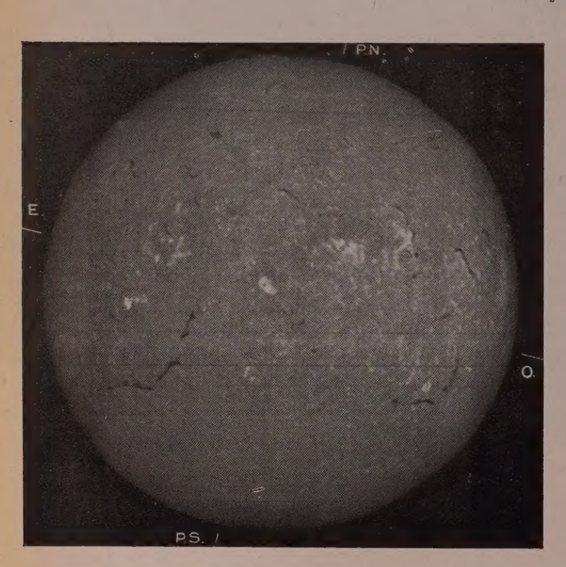


5. — Chromosphère supérieure (Image K_3 du calcium ionisé) [2].



6. — Image K_1 du calcium ionisé.

Le 29 juillet 1927.



7. — Chromosphère supérieure (Image H_{α_3} de l'hydrogène) [2].

8. — Image H_{α}(bord de l'hydrogène.

Le 5 juin 1930.

IMAGES DE LA CHROMOSPHÈRE SOLAIRE OBTENUES AU SPECTROHÉLIOGRAPHE DE MEUDON.

En haut : Aspect de la raie K du calcium ionisé et de la raie H_{α} de l'hydrogène au centre du disque et au bord.

(1) L'assombrissement, au milieu de la raie, a été atténué à dessein pour mieux faire ressortir les composantes brillantes K_2.

(2) Les protubérances de l'image K_3, bien visibles sur le cliché original, ont disparu dans la reproduction en simili-gravure. Il en est de même de la granulation H_{α_3}.

L'ÉTUDE DE L'ATMOSPHÈRE SOLAIRE AU SPECTROHÉLIOGRAPHE

I

Les éclipses totales du Soleil, pendant lesquelles on peut, sans être gêné par l'illumination du ciel, observer les alentours immédiats de l'astre, nous ont appris depuis longtemps que celui-ci est entouré d'une atmosphère étendue, lumineuse par elle-même et formée de deux parties bien distinctes, la *chromosphère* et la *couronne*.

La chromosphère forme la couche la plus basse, et de beaucoup la plus intense, de cette enveloppe hétérogène. Son épaisseur ne dépasse guère 10.000 kilomètres, moins d'un centième du diamètre solaire. Elle apparaît comme un mince anneau rose d'où s'élèvent les *protubérances*, sortes de flammes, roses également, dont la tranquillité apparente contraste avec les formes tourmentées, et qui atteignent des hauteurs très diverses, souvent supérieures à 100.000 kilomètres. L'analyse spectrale, appliquée à la chromosphère et aux protubérances, n'y révèle la présence que de trois éléments, le calcium ionisé, l'hydrogène et l'hélium. Les diverses vapeurs, métalliques pour la plupart, dont l'absorption sélective produit les milliers de raies sombres du spectre solaire normal, sont confinées à la base même de la chromosphère, dans le premier dixième de son épaisseur. Elles y forment une couche, dite *couche renversante*, trop mince pour être observable directement, mais qui a été décelée par son spectre, le *spectre-éclair*, visible pendant une seconde ou deux au commencement et à la fin de la totalité. On a vérifié que, dans son ensemble, le spectre-éclair est bien le contre-type du spectre de Fraunhofer, comme le demande la loi de Kirchhoff.

La couronne constitue autour du Soleil éclipsé une vaste auréole blanchâtre prolongée par des jets dont la longueur dépasse souvent trois ou quatre diamètres de l'astre. Elle donne un spectre continu où se marquent faiblement les raies de Fraunhofer et quelques radiations brillantes non encore identifiées avec certitude, mais appartenant sans doute à des éléments connus, dans un état d'excitation que nos procédés de laboratoire n'ont pas permis de réaliser jusqu'ici.

Le nombre et l'importance des protubérances, ainsi que la forme de la couronne, sont en dépendance étroite avec la période undécennale de l'activité solaire.

Nos connaissances sur les divers phénomènes de l'atmosphère du Soleil se seraient sans doute à peu près bornées aux quelques notions qui précèdent, si leur étude était restée limitée aux rares et courts instants de la totalité des éclipses. En particulier, nous n'aurions jamais pu obtenir aucun renseignement utile sur la structure de la chromosphère, dont la faible épaisseur rend inopérante une observation faite de profil, en élévation.

Un premier et important progrès fut accompli en 1868 par Janssen et Lockyer qui, montrant la possibilité d'étudier les protubérances en temps ordinaire à l'aide du spectroscope, ouvrirent à l'investigation un champ nouveau et fécond. Dès 1891, en effet, le spectrohéliographe, dont le principe avait été indiqué par Janssen, fut réalisé par Deslandres et Hale et l'on eut désormais la possibilité à tout moment, d'enregistrer par la photographie les protubérances et la chromosphère, non seulement de profil, extérieurement au bord, mais aussi de face, dans la partie qui se projette sur le disque. L'étude continue des couches basses de l'atmosphère solaire entrait dans le domaine des travaux courants d'observatoire.

Seul, et malgré de nombreuses tentatives, le faible rayonnement de la couronne n'avait pu, jusqu'à ces dernières années, être séparé des lumières parasites qui nous le masquent habituellement. Le beau travail de Lyot, effectué en 1930 et en 1931 à l'Observatoire du Pic du Midi, a montré que les difficultés rencontrées n'étaient pas insurmontables. Opérant à une altitude où l'atmosphère est particulièrement transparente, avec une lunette astronomique munie d'un dispositif éliminant presque complètement la lumière diffusée ou diffractée d'origine instrumentale, il est parvenu à plusieurs reprises, en masquant le disque solaire par un écran métallique dépassant légèrement le bord de l'astre, à mesurer la polarisation de la lumière coronale, à photographier ses principales radiations gazeuses, à reconstituer l'aspect des régions qui les émettaient, et même, à obtenir des images directes des jets les plus intenses.

Il est clair que, dans les mêmes conditions, les protubérances et l'anneau chromosphérique étaient aisément visibles, sans le secours du spectroscope.

Cependant, ces résultats remarquables, mais tout récents, sont surtout riches de promesses pour les années à venir, et c'est seulement lorsque l'enregistrement courant des phénomènes coronaux aura été organisé qu'ils porteront tous leurs fruits. Par contre, les travaux spectrohéliographiques, poursuivis avec régularité depuis quarante ans dans divers Observatoires, notamment au Mont Wilson (Etats-Unis), à Cambridge (Angleterre), à Kodaikanal (Inde anglaise), à Tortosa (Espagne), à Florence (Italie) et, en France, à Meudon, ont déjà

fourni une documentation considérable grâce à laquelle on a pu, non seulement reconnaître et classer les principaux phénomènes chromosphériques, mais aussi étudier de façon assez précise comment ils évoluent, quels liens les rattachent les uns aux autres. Ces recherches sont, en général, assez peu connues. Je me propose d'en donner ici une idée d'ensemble, en insistant surtout sur les résultats les mieux établis et sur les conséquences qui en découlent le plus directement.

II

Le principe du spectrohéliographe repose sur la propriété que possèdent les raies de Fraunhofer de se comporter à la fois comme un écran qui masque le rayonnement de la surface ou *photosphère,* et comme une source lumineuse dont l'éclat est directement lié, en chaque point du disque solaire, à celui des vapeurs qui les produisent.

Essentiellement, l'instrument se compose d'un spectrographe, de dispersion autant que possible assez forte, auquel on a ajouté, dans le plan où se forme l'image du spectre, une seconde fente ou *fente sélectrice,* parallèle aux raies et munie des réglages nécessaires pour isoler avec précision un très petit intervalle de longueurs d'onde, de l'ordre de quelques dixièmes d'Angström. Une plaque photographique est disposée immédiatement derrière cette seconde fente, sans toutefois la toucher. Si l'on éclaire la fente d'entrée de l'appareil avec une image réelle du Soleil fournie par un objectif astronomique et que l'on règle la fente sélectrice sur une raie de Fraunhofer choisie au préalable, la ligne lumineuse qui impressionnera la plaque photographique pourra être considérée comme un élément d'une image monochromatique de l'astre, telle que l'observerait un œil sensible seulement à la radiation isolée. Il suffit dès lors de déplacer simultanément, d'un mouvement uniforme et perpendiculaire aux fentes, l'image initiale du Soleil devant la première et la plaque photographique derrière la seconde, pour intégrer, en quelque sorte, les éléments successifs de l'image monochromatique et obtenir celle-ci dans son ensemble.

Les mouvements simultanés peuvent être réalisés de diverses façons. Quand le spectrohéliographe employé n'est pas de dimensions trop encombrantes, on ajoute souvent un miroir plan au système dispersif, de manière que le faisceau lumineux qui sort de celui-ci fasse un angle de 180° avec celui qui y pénètre. Le collimateur et la chambre sont alors parallèles et, s'ils ont même distance focale, il suffit de déplacer l'instrument tout entier, avec ses deux fentes, devant l'image initiale du Soleil et la plaque photographique, fixes toutes deux. Les deux mouvements sont ainsi réduits à un seul que l'on obtient en plaçant le spectrohéliographe sur un chariot mû par une clepsydre, un rouage d'horlogerie ou un moteur électrique, convenablement démultiplié.

Si l'appareil est trop grand pour être placé sur un chariot de dimensions admissibles, on meut séparément l'objectif qui projette l'image initiale et la plaque photographique, en coordonnant les mouvements, soit par des transmissions mécaniques, soit, lorsque les organes à déplacer sont trop éloignés l'un de l'autre, comme à Meudon, par des moteurs électriques synchrones.

Nous avons supposé implicitement, jusqu'ici, que le faisceau solaire envoyé sur l'objectif de projection avait été, au préalable, affranchi du mouvement diurne. Au début des recherches, on s'était contenté parfois, pour obtenir ce résultat, de rendre le spectrohéliographe solidaire d'une lunette astronomique, montée en équatorial. Mais cette disposition incommode a été bien vite abandonnée. Aujourd'hui, les spectrohéliographes sont toujours installés à poste fixe et la lumière solaire leur est fournie par un cœlostat. Tantôt, comme à Meudon, à Kodaikanal, les rayons lumineux provenant de celui-ci sont réfléchis horizontalement vers l'appareil, installé dans une salle spéciale. Tantôt, le cœlostat et l'objectif de projection sont placés au sommet d'une tour (tour solaire, tour télescope) et le faisceau renvoyé suivant la verticale descendante sur le spectrohéliographe, placé au fond d'un puits, la première fente étant à peu près au niveau du sol. Cette dernière disposition est en usage au Mont Wilson, à Florence, à Potsdam.

III

Avec les dispersions les plus couramment employées, les principales raies de Fraunhofer sont seules assez larges pour que la fente sélectrice qui les isole et dont la largeur ne peut guère être inférieure à cinq centièmes de millimètre, ne laisse pas passser en même temps la lumière du spectre continu voisin. En fait, on s'est presque toujours adressé, pour former des images monochromatiques du Soleil avec le spectrohéliographe, aux raies violettes H et K du calcium ionisé, de beaucoup les plus importantes dans la région visible du spectre, ou à l'une des quatre raies de l'hydrogène, Hα, Hβ, Hγ, Hδ.

Ces six raies offrent d'ailleurs un intérêt spécial car, l'hélium mis à part[1], elles appartiennent,

1. Les raies de l'hélium se sont habituellement pas visibles dans le spectre de Fraunhofer. Elles n'apparaissent que comme raies d'émission, dans la chromosphère extérieure au bord et les protubérances. Seule, la raie principale, D_3, se montre parfois en absorption dans les régions actives du disque.

ainsi que nous l'avons vu au début, aux seuls éléments dont le spectroscope décèle la présence dans les couches élevées de la chromosphère et dans les protubérances[1]. Cette propriété leur confère un aspect particulier et une structure complexe qui les distingue de toutes les autres raies, et que nous allons examiner avec quelque détail.

Considérons, en premier lieu, les raies H et K du calcium ionisé. A peu près identiques l'une à l'autre, elles sont constituées par une large bande diffuse (Planche, case 1) au milieu de laquelle on distingue une fine ligne sombre bordée de deux composantes brillantes. Suivant l'usage établi, nous désignerons par les symboles H_1 ou K_1, H_2 ou K_2, H_3 ou K_3, respectivement, les bandes diffuses, les composantes brillantes et les lignes sombres médianes des deux raies. H_2, K_2 et H_3, K_3 présentent aux divers points du disque solaire de grandes différences d'éclat, qui se retrouvent, mais très atténuées, dans H_1, K_1. Au bord, un phénomène remarquable se produit (Planche, case 2) : alors que H_1, K_1 semblent s'arrêter au bord même, défini, dans le spectrographe, par la limite du spectre continu, les composantes médianes traversent cette limite sans discontinuité sensible d'éclat; elles se terminent à des hauteurs échelonnées au-dessus de la surface, H_3 et K_3 étant les plus élevées et affectant une forme à laquelle on a souvent donné le nom de *fer de lance*, qui en marque bien le caractère. Sur les protubérances, l'aspect est différent; parfois, H_2, K_2, plus fines et plus serrées, y sont encore visibles; mais, presque toujours, H_3, K_3 subsistent seules, se détachant en clair sur le fond sombre du champ.

On est d'accord, aujourd'hui, pour donner de ces aspects l'interprétation suivante, que Deslandres a proposée le premier : la forme en fer de lance montre que H_2, K_2 ne sont pas des raies doubles, mais des raies simples renversées par l'action absorbante des parties élevées, moins chaudes, de la vapeur; l'échelonnement en hauteur des composantes d'indices 2 et 3 fixe les niveaux atteints par les couches superposées. En outre, le fait que H_2, K_2 et H_3, K_3 traversent la limite du spectre continu sans changement d'éclat confirme, pour ces composantes tout au moins, et au voisinage du bord, la propriété que nous avons énoncée au début sur l'opacité des raies de Fraunhofer à la lumière photosphérique.

Il existe donc trois couches distinctes dans la vapeur de calcium ionisé : la première, qui correspond aux composantes d'indice 1, encore appelées *ailes* des raies H et K, ne dépasse pas le niveau de la couche renversante; la seconde, qui produit H_2, K_2, s'élève à 3.500 kilomètres environ; enfin, la couche supérieure, représentée par H_3, K_3, atteint un niveau voisin de 5.000 kilomètres[1].

Supposons maintenant que nous disposions d'un spectrohéliographe assez dispersif pour isoler indépendamment chacune des composantes; un changement minime dans le réglage de la fente sélectrice permettra d'obtenir des images séparées des trois couches de vapeur.

Cette méthode d'exploration en profondeur de la chromosphère avait été indiquée par Deslandres dès l'invention de l'instrument. Les premières applications en ont été faites en 1908, à Meudon, à l'aide d'un grand spectrohéliographe à combinaisons multiples dont la dispersion maxima atteint 0,7 Angström par millimètre. Elle n'est d'ailleurs pas limitée aux raies H et K et nous aurons bientôt l'occasion de montrer qu'elle peut être employée avec succès pour toutes les raies de Fraunhofer un peu importantes.

Précisons maintenant les caractères des raies de l'hydrogène. Au bord solaire, elles présentent une saillie d'aspect et de hauteur analogues à celle des raies H et K (Planche, case 3) : on y distingue une composante médiane en fer de lance et deux composantes latérales plus brillantes et moins élevées[2]. L'hydrogène, comme le calcium ionisé, forme donc, dans la chromosphère, deux couches distinctes dont l'épaisseur totale atteint, elle aussi, environ 5.000 kilomètres. Cependant, sur le disque, la composante médiane subsiste seule, offrant l'aspect d'une large ligne sombre, d'importance décroissante de Hα à Hδ, et bordée d'ailes à peine marquées (Planche, case 4). Il est probable, toutefois, que la disparition des composantes latérales brillantes n'est qu'apparente. En effet, elles n'ont pas, pour se détacher, le fond H_1, K_1, qui, dans les raies du calcium ionisé, favorise la visibilité de H_2, K_2, et elles demeurent sans doute noyées dans les régions diffuses qui

---

1. On s'est longtemps demandé pourquoi, puisque la vapeur de calcium ionisé apparaît aux niveaux élevés de la chromosphère, d'autres éléments métalliques ionisés, aussi abondants, ne s'y montrent pas. Il y a, à cette anomalie apparente deux causes principales : d'une part, les conditions de température et de pression qui règnent aux hautes altitudes de la chromosphère, très favorables à la production des raies H et K, le sont moins pour les raies de la plupart des autres éléments ionisés; et, d'autre part, quand elles le sont, comme pour le magnésium ionisé, les raies qui peuvent être produites se trouvent dans des régions du spectre inobservables, par suite de l'absorption produite par notre atmosphère.

1. Pendant les éclipses, les raies du calcium ionisé paraissent s'élever à 10.000 kilomètres au moins. Cette valeur peut se concilier avec celle, de moitié plus faible, que donne la mesure directe de la saillie de la raie en supposant que les vapeurs les plus hautes, très peu intenses, sont masquées en temps ordinaire par la lumière diffuse du ciel.

2. Sur les protubérances, les raies de l'hydrogène se comportent comme celles du calcium ionisé.

forment les lisières de la ligne sombre. Nous verrons d'ailleurs que l'aspect des spectrohéliogrammes obtenus avec différentes régions des raies de l'hydrogène, en particulier de Hα, justifie cette manière de voir.

Comme les composantes H_2, K_2 et H_3, K_3, les raies de l'hydrogène subissent des variations notables d'intensité suivant les régions du disque considérées. Ces variations sont surtout marquées pour Hα; elles s'atténuent graduellement pour les raies suivantes de la série.

IV

Les spectrohéliogrammes du calcium ionisé et de l'hydrogène offrent une richesse, une variété de détails que pouvaient laisser prévoir les changements d'éclat des raies d'un point à l'autre du disque solaire, mais qui surprennent toujours un observateur habitué seulement à l'aspect de la surface de l'astre où n'apparaissent que les *taches* et les *facules*, se détachant sur une faible granulation.

Un autre sujet d'étonnement réside dans la diversité des caractères que présentent, au même jour d'observation, les images des deux éléments. Nous serons mieux armés pour rechercher les causes auxquelles ces différences peuvent être rapportées quand nous aurons étudié séparément les spectrohéliogrammes des couches successives du calcium ionisé et de l'hydrogène.

Les composantes correspondantes des deux raies H et K donnent des résultats à peu près identiques; nous considérerons seulement ceux que l'on obtient avec la raie K, la plus fréquemment employée comme étant un peu plus large et mieux dégagée des raies étrangères que la raie H.

La structure des images K_3 (Planche, case 5), consiste essentiellement en un réseau serré de petits nuages brillants qui, en diverses régions, prennent un éclat très vif et se réunissent en masses plus ou moins compactes, plus ou moins étendues. On a souvent appelé *flocculi*, indistinctement, les masses compactes et les nuages isolés. Cependant, alors que ceux-ci sont visibles sur tout le disque, les masses brillantes ne se rencontrent guère que dans les zones d'apparition des taches ou *zones royales*. Elles ont, chaque fois que la comparaison directe peut être effectuée, mêmes formes générales et mêmes positions sur le disque que les facules, sans cependant s'identifier tout à fait avec celles-ci. Deslandres leur a donné le nom de *plages faculaires*, réservant le terme *flocculi* pour les petits nuages isolés. C'est cette terminologie que nous adopterons ici.

Presque toujours, le réseau de *flocculi* est sillonné par des lignes sombres, plus ou moins sinueuses, nommées *filaments* par le même auteur. Les filaments sont souvent très longs et leurs bords bien tranchés. Parfois aussi, ils sont diffus et discontinus.

Sur le contour du disque, s'élèvent les protubérances. On a vérifié qu'au même instant, il n'existe pas de différence notable entre les protubérances enregistrées au spectrohéliographe et celles que l'on observe directement, en un lieu où se produit une éclipse totale. Mais l'image monochromatique nous révèle un fait nouveau et important : on y remarque que tous les filaments passant au bord solaire traversent celui-ci en le masquant et se prolongent en une protubérance dont l'éclat est comparable au leur [1]. Ainsi, protubérances et filaments ne sont que les deux aspects d'un même phénomène observé dans des conditions différentes. Cette identité admise, il sera commode néanmoins, dans la suite de cet exposé, de conserver le terme « filaments » pour désigner les protubérances vues en projection sur le disque.

La fréquence des plages faculaires, comme celle des protubérances, est liée à la période undécennale de l'activité des taches. Par contre, le réseau de flocculi en paraît indépendant et conserve toujours à peu près le même aspect.

Lorsque la fente sélectrice du spectrohéliographe est placée à des distances croissantes du milieu de K_3, les protubérances et les filaments s'effacent rapidement; les taches, qui étaient en partie recouvertes par les vapeurs brillantes dans les images K_3, réapparaissent peu à peu; en même temps, l'éclat relatif des plages faculaires et des flocculi diminue; de K_3 à K_2, la variation est lente; elle devient très rapide au passage de K_2 à K_1 (Planche, case 6) pour se ralentir de nouveau ensuite. A 7 Angströms du milieu de la raie (l'aile s'étend au moins sur 15), l'aspect est celui d'une photographie de la surface, obtenue au foyer d'une lunette astronomique.

Somme toute, quelle que soit la portion de la raie K isolée, les caractères essentiels de la structure chromosphérique ne changent pas. Avec l'hydrogène, la succession des phénomènes perd ce caractère de simplicité. Les résultats varient en outre avec la raie employée et si quelques-uns des spectrohéliogrammes présentent avec ceux du calcium un certain nombre de traits communs, ils s'en différencient du tout au tout par leur aspect général.

L'image donnée par le milieu de Hα (Planche,

---

1. On ne dit en effet que les protubérances sont brillantes et les filaments sombres que parce que l'on compare les premières au fond du ciel et les seconds à la chromosphère, cinq ou six fois plus lumineuse qu'eux, en moyenne.

case 7) montre les protubérances et les filaments comme l'image K_3. Par contre, le réseau de flocculi y semble totalement absent. Il est remplacé par une granulation peu marquée, dont les éléments sont cinq ou six fois plus grands, en moyenne, que les grains photosphériques et qui, contrairement à ceux-ci, paraissent sombres sur fond brillant. Les plages faculaires se retrouvent, mais avec un aspect différent et réduites, quant à leurs formes générales, aux crêtes, aux arêtes, des plages du calcium ionisé. Elles masquent à peine les taches. Dans leur voisinage, la granulation offre une structure particulière qui rappelle les spectres magnétiques dessinant les lignes de force d'un champ. Quelquefois, elle prend un aspect tourbillonnaire qui a fait nommer ces régions *Solar vortices*, par Hale.

Quand on écarte la fente sélectrice du milieu de la raie, on observe d'abord la disparition rapide des plages faculaires et des protubérances, puis des filaments. Au contraire, la granulation et les Solar vortices deviennent beaucoup plus apparents. Leur visibilité maxima a lieu quand la fente est placée tout près de la lisière de la raie, sans toutefois que la lumière de l'aile y pénètre. L'image que l'on obtient alors correspond vraisemblablement à la couche moyenne de l'hydrogène qui émet la composante d'indice 2, bien nette au bord, mais invisible sur le disque (§ III). Le spectrohéliographe, si précieux pour faire ressortir les faibles changements d'éclat d'un point à l'autre des raies, trouve ici une application intéressante : il révèle l'existence de composantes que le simple spectrographe est incapable de montrer et permet ainsi de mettre en évidence la similitude de constitution de la raie Hα et des raies du calcium ionisé.

Lorsque la lumière de l'aile commence à pénétrer dans la fente sélectrice, l'aspect de l'image se modifie complètement (Planche, case 8). Tous les détails que nous venons d'énumérer disparaissent et font place à un réseau de plages et de flocculi *sombres* qui, dans sa forme générale, est à peu près le contre-type des plages et flocculi du calcium ionisé. Enfin, quand la fente est écartée davantage, cette structure nouvelle disparaît à son tour et les images deviennent semblables à celles de la photosphère.

Les autres raies de l'hydrogène ne fournissent que deux images distinctes : sur la première, donnée par la partie médiane, on retrouve à la fois les caractères de $H\alpha_3$ et de $H\alpha_2$. Mais ces caractères, déjà très atténués avec Hβ, se montrent de plus en plus faiblement avec les raies suivantes. Par contre, des plages et des flocculi sombres, très analogues à ceux que nous avons notés aux lisières de Hα, apparaissent, de mieux en mieux marqués et, sur l'image $H\delta_3$, demeurent à peu près seuls.

Si, comme précédemment, nous écartons la fente de la région médiane, les caractères $H\alpha_2$ et $H\alpha_3$ disparaissent presque tout de suite; les plages et flocculi sombres restent inchangés jusqu'à ce que la fente ait dépassé les lisières; puis ils s'atténuent graduellement et s'effacent.

V

Résumons les résultats que nous venons d'exposer. Les différents types de structures observés avec le calcium ionisé et l'hydrogène — protubérances et filaments mis à part — peuvent se grouper en trois classes comme l'indique le tableau suivant :

Classe	Caractères principaux	Composantes des raies isolées		Intens. relat. des structures
I	Plages faculaires et réseau de flocculi brillants	H_3, K_3	du calcium ionisé	Tr. forte
		H_2, K_2	—	Forte
		H_1, K_1	—	Faible
	Même structure, un peu modifiée	$H\alpha_3$	de l'hydrogène	Forte
		$H\beta_3$	—	Faible
		$H\gamma_3$	—	Tr. faible
II	Plages faculaires et réseau de flocculi sombres (Contre-type de la structure précédente)	Hα bord	—	Forte
		Hβ bord	—	As. forte
		Hγ bord	—	As. forte
		Hδ bord	—	As. forte
		$H\beta_3$	—	Moyenne
		$H\gamma_3$	—	As. forte
		$H\delta_3$	—	As. forte
III	Granulation et *Solar vortices*	$H\alpha_3$	—	Faible
		$H\alpha_2$	—	Tr. forte
		$H\beta_3$	—	Moyenne
		$H\gamma_3$	—	Tr. faible

La coexistence de structures différentes dans des couches de vapeur dont les niveaux sont relativement voisins peut, à première vue, sembler assez surprenante. L'examen plus attentif des divers détails et des conditions dans lesquelles ils sont produits va cependant nous permettre d'éclaircir quelque peu une question qui comporte encore trop d'inconnues à l'heure actuelle pour être résolue complètement.

Nous avons signalé déjà que les plages faculaires brillantes, visibles sur les images du calcium ionisé, occupent les mêmes positions que les facules de la surface. Leur étendue est seulement un peu plus grande et leurs contours plus diffus. D'autre part, lorsque les clichés ont été obtenus aux moments de meilleure définition, il est possible de discerner une subdivision dans le réseau de flocculi. Ceux-ci apparaissent alors constitués par un grand nombre de grains beaucoup plus petits et de forme à peu près circulaire, comme les grains

de la surface. Entre les mailles du réseau, le fond de l'image qui, habituellement, semble uniforme, révèle une structure granulaire analogue. Cette subdivision avait été soupçonnée par Deslandres qui s'est demandé s'il n'y aurait pas correspondance entre les grains chromosphériques et ceux de la surface. Elle a été précisée par Hale et Ellerman qui, ayant mesuré les diamètres des premiers, les ont trouvé compris entre une fraction de seconde et trois ou quatre secondes d'arc, c'est-à-dire du même ordre de grandeur que les seconds. La correspondance grain à grain n'a pas été établie, mais il est vraisemblable de supposer qu'elle existe réellement.

Les plages faculaires et les grains chromosphériques du calcium ionisé sont donc en accord étroit avec les régions de la surface où se manifeste un excès de rayonnement. Seules, les mailles même du réseau de flocculi paraissent ne se rapporter à aucun phénomène photosphérique. On peut penser cependant, par analogie que, en dehors des facules importantes localisées dans la région des taches, la surface est parsemée de facules plus petites, trop peu étendues et d'un éclat trop faible pour être perceptibles à l'observation directe, mais dont l'influence ne s'exerce pas moins pour former le réseau chromosphérique observé.

Ainsi, tous les détails brillants visibles sur les images du calcium ionisé ne seraient que la reproduction amplifiée des maxima du rayonnement de la surface du Soleil. Bornons-nous à constater le fait. Le mécanisme par lequel ces faibles maxima peuvent provoquer une illumination aussi vive des vapeurs n'a jamais été, jusqu'ici, expliqué de façon satisfaisante.

D'ailleurs, il est nécessaire de faire une réserve en ce qui concerne les plages faculaires H_1, K_1, obtenues dans une région des raies où l'émission est à peu près nulle et où l'absorption, très incomplète, peut laisser transparaître les parties élevées de la surface. Ces plages ne seraient autre chose que les facules elles-mêmes, auxquelles on s'accorde à donner un niveau supérieur au niveau moyen de la photosphère.

Les plages brillantes $H\alpha_3$ peuvent être interprétées de la même façon que les plages H_2, K_2 et H_3, K_3. L'hydrogène qui produit la raie rouge serait seulement moins sensible aux actions photosphériques. Mais comment rendre compte des plages sombres qui caractérisent les images données par les composantes médianes des raies suivantes de la série de Balmer? Ces raies forment des écrans incomplètement opaques à la lumière de la surface. Elles se marquent en effet, de moins en moins dans le spectre du disque et, à partir de $H\varepsilon$, ne sont plus visibles que dans le spectre de la chromosphère, extérieurement au bord. Mais elles ne sont pas pour cela dans le cas des composantes H_1 et K_1, car l'émission y joue encore un rôle important, de sorte que l'éclat de leur partie médiane résulte de la superposition, en proportion variable, du rayonnement monochromatique de la vapeur à la lumière photosphérique résiduelle. Il est possible, dès lors, qu'à un accroissement d'éclat de la surface, corresponde un assombrissement de la raie et, par suite, une plage sombre, l'augmentation du pouvoir absorbant l'emportant sur celle du pouvoir émissif.

Ce raisonnement, s'il est valable pour le milieu des raies, l'est, *a fortiori*, vers les bords de celles-ci. Cependant, les plages sombres observées aux lisières sont dues, en partie au moins, à une autre cause. En effet, les assombrissements des raies de l'hydrogène, provenant de l'augmentation prépondérante de leur pouvoir absorbant, sont accompagnés, en général, d'un élargissement. Or, lorsque la fente sélectrice est placée assez près d'une des lisières pour que le spectre voisin, plus lumineux, intervienne aussi dans la formation de l'image, l'intensité des détails enregistrés sur la plaque photographique dépend évidemment du dosage des deux lumières qui pénètrent ensemble dans la fente. L'éclat de l'image sera donc le plus faible aux points du disque solaire où la raie employée sera le plus large. La similitude d'aspect des plages sombres observées aux lisières et dans les parties médianes, confirme que les élargissements correspondent bien aux assombrissements des raies.

La visibilité de la granulation et des *Solar vortices* $H\alpha$ est, à certains égards, en opposition avec celle des plages faculaires et des flocculi brillants. Les plages ont leur visibilité maxima au milieu de la raie où la granulation apparaît à peine. Celle-ci, au contraire, atteint son plus grand relief près des lisières, quand les plages sont déjà très affaiblies. Il y a là une indication très nette que les deux structures n'ont pas la même origine. D'ailleurs, aucun détail de la granulation ou des tourbillons près des taches, ne se retrouve dans la photosphère. Ces détails prennent donc plutôt naissance dans les couches d'hydrogène elles-mêmes qui, à tout moment brassées et soumises à des courants de convection, offrent en leurs divers points des différences de température, de densité et de pression qui se traduisent par des différences d'éclat. En outre, la faible visibilité de la granulation et des Solar vortices dans l'image $H\alpha_3$ laisse supposer qu'ils sont localisés dans une couche de niveau moyen, comprise en-

tre la surface et le niveau le plus élevé atteint par l'hydrogène.

En résumé, si on ne considère que les analogies d'ensemble et non la correspondance rigoureuse entre les détails, les structures que nous venons d'examiner peuvent se ramener à deux types fondamentaux : le premier, directement lié aux variations du rayonnement de la surface solaire; le second, ayant son origine dans la chromosphère même et représentant probablement l'état d'agitation des couches plus ou moins hétérogènes qui la composent.

VI

Aucune des images étudiées jusqu'ici ne nous apporte de renseignements sur la structure de la couche renversante. Pour en obtenir, il faut isoler des raies qui soient produites tout entières dans cette couche. Or, si presque toutes les raies de Fraunhofer se trouvent dans ce cas, elles sont, pour la plupart, très étroites et se prêtent mal à un enregistrement spectrohéliographique précis; de sorte que, jusqu'à ces dernières années, les recherches entreprises dans cette voie, faites avec des instruments trop peu dispersifs, n'avaient pas donné de résultats concluants.

En 1930, nous avons pu, grâce au grand spectrohéliographe de Meudon, déjà cité, faire une étude systématique et complète de onze raies d'importances diverses, appartenant à cinq éléments différents : fer, calcium, magnésium, sodium neutres, strontium ionisé. Nous allons en exposer brièvement les principaux résultats.

Les raies des vapeurs basses ont, à l'intensité près, une uniformité d'aspect que ne présentent pas les raies de niveaux élevés. Elles sont composées d'une partie médiane étroite[1], bordée d'ailes plus ou moins marquées, quelquefois même inexistantes dans les raies faibles. Au premier examen, leur éclat ne paraît pas varier sensiblement d'un point du disque à l'autre. Au bord, elles semblent, dans les conditions ordinaires, avoir même limite que le spectre continu. Il est clair, cependant, qu'elles doivent offrir une très faible saillie, correspondant à l'épaisseur des vapeurs auxquelles elles appartiennent. Hale et Adams, utilisant une très grande image du Soleil et profitant des moments où l'atmosphère terrestre était absolument calme, sont d'ailleurs parvenus, au Mont Wilson, à mettre cette saillie en évidence; elle est constituée, comme celle des raies H et K et des raies de l'hydrogène, par deux composantes brillantes enserrant une composante médiane d'éclat plus faible. La simplicité de structure de ces raies n'est donc qu'apparente. Ici encore, la méthode spectrohéliographique va nous permettre de faire resssortir l'existence de composantes distinctes, invisibles avec le simple spectrographe ou même avec le microphotomètre enregistreur.

Pour les raies importantes, aux ailes bien marquées, la succession des phénomènes est la suivante :

1° Lorsque la fente sélectrice est placée au milieu de la partie médiane, les images offrent, mélangées à une faible granulation, des plages faculaires et des flocculi brillants, qui semblent identiques à ceux de H_1, K_1, mais d'une intensité relative moindre.

2° Dans deux régions symétriques très étroites, situées encore à l'intérieur de la partie médiane, mais près des lisières de celle-ci, les plages et les flocculi disparaissent presque complètement. La structure granulaire devient très marquée et subsiste à peu près seule, uniformément répartie sur tout le disque.

3° Au delà des lisières, dans les ailes, la structure granulaire s'efface rapidement. Plages et flocculi brillants réapparaissent, passent par un maximum rélatif d'éclat, puis disparaissent à nouveau, un peu avant que la limite extérieure de l'aile soit atteinte. Les images deviennent alors semblables aux photographies directes du Soleil, obtenues avec un photohéliographe.

Avec les raies peu intenses, dont les ailes sont faibles ou inexistantes, la troisième phase n'existe pas. Par contre, on observe souvent, dans la position 2, de très faibles plages sombres, mélangées à la granulation et qui rappellent les plages sombres fournies par les lisières des raies de l'hydrogène. Nous avons vérifié qu'elles étaient dues, comme ces dernières, à des élargissements des raies[1] sur les régions du disque où se trouvent des facules.

La granulation, elle aussi, s'apparente à celle de l'hydrogène. Elle donne la même impression d'être composée de grains sombres sur fond brillant, le diamètre moyen des grains étant environ cinq fois celui des grains photosphériques. Toutefois, aucune trace des Solar vortices n'est visible dans les régions tachées.

Les images de la couche renversante ne mon-

1. La largeur de la partie médiane est de 0,15 Angströms, en moyenne, alors que celle de l'ensemble des composantes K_2 et K_3 est de 0,6 A et celle de $H\alpha_3$ de 1 A environ.

1. Ces élargissements sont beaucoup plus faibles que ceux des raies de l'hydrogène. Les raies à ailes présentent d'ailleurs, elles aussi, des élargissements sur les facules. Si elles ne donnent pas de plages sombres au spectrohéliographe, c'est que, par suite de la présence de l'aile, le contraste entre l'intensité de la lumière de la raie et celle du spectre voisin est insuffisant.

trent pas de protubérances ni de filaments[1]. Les taches y apparaissent à peu près comme sur les images H_1, K_1, avec leur ombre et leur pénombre bien marquées.

Ces résultats révèlent l'existence d'un lien entre la structure des vapeurs basses et celle des couches plus élevées. Ils vont ainsi nous permettre de généraliser certaines interprétations limitées jusqu'ici à ces dernières.

En premier lieu, la disparition momentanée des plages et flocculi brillants quand la fente sélectrice est placée dans la position 2 indique nettement que, malgré leur similitude d'aspect, les plages obtenues avec la partie médiane n'ont pas la même origine que celles des ailes. Elle apporte un argument décisif en faveur de l'hypothèse que ces dernières, comme les plages H_1, K_1, ne sont autre chose que les facules elles-mêmes, enregistrées à l'aide de leur spectre continu. La discrimination restait incertaine avec les raies H et K, où l'émission des composantes médianes, exceptionnellement forte sur les facules, déborde dans les ailes, de sorte qu'on ne peut discerner dans quelle région elle cesse d'être prépondérante. Avec les raies de la couche renversante, au contraire, le renforcement du pouvoir émissif, provoqué par les facules, est à peine indiqué; il ne s'étend pas, pratiquement, jusqu'aux lisières, où l'absorption est encore trop forte pour que des détails photosphériques puissent transparaître. Les régions de visibilité des deux phénomènes sont ainsi nettement séparées.

De même qu'on n'a pu encore donner de raison satisfaisante à l'éclat exceptionnel du calcium ionisé et aussi, quoique à un degré moindre, de l'hydrogène au-dessus des facules, on n'a pas expliqué jusqu'ici pourquoi les vapeurs basses réagissent si peu aux actions du rayonnement de la surface. Peut-être ces différences profondes sont-elles liées à celles qui régissent les conditions d'équilibre des couches basses et des couches élevées.

Alors que les plages et les flocculi ont une intensité très variable suivant les raies employées à former les images, la granulation paraît à peu près également marquée avec toutes les vapeurs de la couche renversante étudiées et avec l'hydrogène. Comme nous avons eu déjà l'occasion de l'indiquer à propos de ce dernier élément, elle est vraisemblablement localisée dans les couches mêmes des vapeurs et marque leur propre état d'agitation. Les grains pourraient ainsi être considérés comme des cellules-tourbillons analogues à celles que Benard a mises en évidence dans les liquides en couches minces, chauffés par le bas et refroidis par le haut.

On doit s'attendre, dans ces conditions, à observer des grains identiques pour les vapeurs situées au même niveau. Il semble bien qu'il en soit ainsi : d'une part, en effet, nous avons vérifié, en comparant les diamètres d'images obtenues successivement avec une raie et avec le spectre continu voisin[1], que les vapeurs de la couche renversante étudiées avaient, en moyenne, une épaisseur de un millier de kilomètres, environ. Le diamètre des grains (de l'ordre de 5.000 kilomètres) est donc grand devant cette épaisseur et, pour l'étude de leurs différences d'aspect, on peut admettre que les diverses images sont obtenues au même niveau. D'autre part, autant qu'il a été possible de nous en rendre compte à l'aide d'images faites simultanément avec deux raies d'éléments différents, la forme et la distribution des grains paraissent, à un instant donné, indépendantes de la vapeur considérée.

Le niveau seul interviendrait donc pour modifier la structure granulaire. On expliquerait de cette façon que celle-ci, à la hauteur plus grande où se trouve l'hydrogène, puisse revêtir un aspect différent. Les Solar vortices seraient dus à des actions mécaniques, analogues à celles qui produisent nos cyclones terrestres et auxquelles les couches élevées des vapeurs, moins denses, moins visqueuses que les couches basses, seraient plus sensibles.

Il se confirme ainsi que la granulation forme la structure essentielle de toutes les vapeurs chromosphériques. Cependant, le calcium ionisé ne la montre pas. Il ne montre pas davantage les tourbillons autour des taches, bien que son niveau soit très voisin de celui de l'hydrogène. Peut-être ces phénomènes y sont-ils simplement masqués par l'éclat des plages et des flocculi, vraiment exceptionnel avec les raies H et K?

Pour élucider ce point, nous avons cherché à obtenir des spectrohéliogrammes avec d'autres raies du calcium ionisé, appartenant à une classe spectrale dont les conditions d'excitation sont moins bien réalisées dans le Soleil. On pouvait s'attendre ainsi à ce qu'elles réagissent moins aisément aux actions de la surface.

1. Ce résultat était d'ailleurs attendu, puisque, dans le spectre de la chromosphère, les raies des éléments métalliques considérés ici sont absentes.

1. Cette méthode, inaugurée à Meudon, paraît donner des résultats au moins aussi précis que les mesures directes des saillies des raies. Elle est d'ailleurs seule applicable, en dehors des éclipses, pour les raies des vapeurs basses, dont les saillies sont pratiquement invisibles.

Les plus importantes de ces raies sont situées dans l'infra-rouge, c'est-à-dire dans une région que la faible sensibilité des émulsions photographiques aux rayons de grande longueur d'onde, n'avait pas permis jusqu'ici d'explorer au spectrohéliographe. Grâce cependant aux plaques à la néocyanine mises il y a quelques années dans le commerce par la maison Kodak, nous avons pu obtenir, avec des poses encore acceptables (une heure et demie d'un bord à l'autre du Soleil), d'assez bonnes images avec les deux raies λ8498 et λ8542 qui offrent, comme H et K, une saillie au bord de l'astre, mais dont les composantes d'indice 2 n'apparaissent pas sur le disque.

Ces images participent à la fois des images K_2, par l'intensité des plages faculaires et des flocculi, et des images K_3, par la visibilité des protubérances et des filaments. Aux lisières des raies, on soupçonne l'existence d'une faible granulation, mélangée aux flocculi et qui pourrait bien être la granulation cherchée. Il serait toutefois prématuré de l'affirmer. Seules des images faites simultanément avec les raies infra-rouges et avec des raies des vapeurs basses, permettront de trancher définitivement la question.

VII

Parmi les divers détails visibles sur les images spectrohéliographiques, il en est dont la persistance est assez longue pour qu'il soit possible de suivre leur évolution et de rechercher les liens qui peuvent les unir les uns aux autres. Les plus importants de ces détails sont les plages faculaires et les protubérances, extérieures au bord ou observées comme filaments en projection sur le disque. Toutefois, avant de les étudier à ce nouveau point de vue, nous allons nous occuper de la rotation des diverses couches chromosphériques, à laquelle participent tous les phénomènes examinés dans les précédents paragraphes, et dont les particularités assez singulières ont fait l'objet de très nombreux travaux.

On sait que la surface du Soleil ne tourne pas comme un corps solide. La loi de rotation, établie en premier par Carrington d'après le mouvement des taches, peut, d'après les travaux les plus récents, s'exprimer par la formule

$$\xi = 14°,37 - 2°,60 \sin^2\varphi.$$

où ξ désigne la vitesse angulaire sidérale par 24 heures et φ la latitude héliographique. Cette formule montre que la vitesse angulaire de rotation décroît de l'équateur aux pôles. D'ailleurs, elle ne s'applique guère qu'aux latitudes inférieures à 40°. Au delà, les taches sont trop rares pour que l'on puisse déterminer ξ avec une approximation suffisante.

Dès que les méthodes spectroscopiques ont été appliquées à l'étude du Soleil et que l'on a su obtenir couramment des images de son atmosphère gazeuse, on s'est préoccupé de rechercher si la loi de rotation de la surface était aussi valable pour les diverses couches de la chromosphère. Deux méthodes ont été employées : la première, que l'on pourrait appeler la méthode directe, consiste à relever, à des intervalles de temps connus, les positions successives occupées sur le disque par des détails caractéristiques et à en déduire la vitesse angulaire ξ. Elle suppose que ces détails sont suffisamment nets et stables pour se prêter à des mesures cohérentes. La seconde utilise l'effet Doppler-Fizeau qui affecte les raies des divers éléments d'un déplacement vers le violet ou vers le rouge, suivant qu'on les observe au bord est ou au bord ouest. Le tableau de la page suivante donne les résultats fournis par les deux méthodes.

Plusieurs faits importants se déduisent des valeurs inscrites dans le tableau :

1° Les vitesses angulaires équatoriales de rotation, déterminées à l'aide de l'effet Doppler-Fizeau, croissent avec le niveau des vapeurs.

2° Leur ralentissement polaire, par contre, diminue.

3° Les vitesses angulaires équatoriales des flocculi du calcium ionisé et de l'hydrogène (Hδ), déterminées par la méthode directe, sont sensiblement égales à celles des facules.

4° Les vitesses angulaires des filaments sont analogues à celles des taches. Par contre, elles diffèrent notablement des vitesses angulaires déduites de l'effet Doppler-Fizeau sur les raies protubérantielles H et K, extérieures au bord.

Si l'on ne considère que les mesures effectuées par Adams sur les raies de la couche renversante, la première loi est encore valable pour les phénomènes de la surface observés directement. Elle cesse de l'être, au contraire, si on tient compte également des très nombreuses mesures faites par les autres auteurs. Il y a lieu de remarquer, cependant, que la plupart de ces dernières prennent place à des époques voisines du minimum d'activité solaire, alors que les mesures d'Adams se rapportent à la phase d'activité maxima. Or, il semble ressortir de l'ensemble des déterminations que les vitesses de rotation seraient un peu plus faibles dans le premier cas que dans le second. On peut donc penser que, si les mesures étaient distribuées uniformément dans le temps comme celles qui ont permis d'établir les vitesses de rotation des taches, on observerait une aug-

	Nature des détails mesurés ou raies employées à la détermination	Auteurs	ξ
Surface	Taches	Observatoire de Greenwich	$14°,37 - 2°,60 \sin^2\varphi$
	Facules	Maunder	$14°,54 - 2,81 \sin^2\varphi$
Chromosphère (méthode directe)	Flocculi du calcium ionisé	Hale et Fox, Kempf, Observatoire du Mont Wilson, Fox	$14,53 - 2,53 \sin^2\varphi$
	Flocculi de l'hydrogène (H_δ)	Hale	14,6 (pas de ralentissement polaire sensible)
	Filaments	d'Azambuja	$14,44 - 1,60 \sin^2\varphi$
Chromosphère (effet Doppler-Fizeau)	Raies diverses de la couche renversante	Adams	$14,54 - 3,50 \sin^2\varphi$
	Id.	Moyenne de déterminations effectuées dans une dizaine d'Observatoires	$14,30 - 3,32 \sin^2\varphi$
	Raie Ca 4227[1]	Adams	$14,9 - 2,4 \sin^2\varphi$
	Raie $H\alpha$	Adams	$15,0 - 1,4 \sin^2\varphi$
	Raie K_3	S[t] John	15,5 (pas de ralentissement polaire sensible)
	Raies protubérantielles H et K	Evershed	17 id.

1. La raie 4227 s'élève un peu au-dessus du niveau moyen de la couche renversante.

mentation progressive de la vitesse avec le niveau, depuis la surface jusqu'aux protubérances. Il serait prématuré, toutefois, d'être plus affirmatif. Il faut attendre, pour cela, que les éléments d'appréciation se soient accumulés et s'étendent sur plusieurs périodes undécennales complètes.

Il faut d'ailleurs se souvenir, quand on compare des résultats obtenus par la méthode directe et par la méthode spectroscopique, que celle-ci fournit la vitesse de rotation des atomes absorbants contenus dans les couches de vapeur où se produisent les raies mesurées. Or, il n'est pas surprenant que cette vitesse diffère de celle des détails, lumineux ou sombres, provoqués dans ces mêmes couches par des causes locales ou par des phénomènes sous-jacents. Ainsi, la couche K_3, où apparaissent les nuages brillants que nous appelons « flocculi du calcium ionisé », a une vitesse de rotation notablement supérieure à celles de ces nuages qui tournent, ainsi que l'on pouvait s'y attendre, comme les facules, au-dessus desquelles ils ne cessent de se trouver. Les flocculi $H\delta$, eux aussi, tournent comme les facules[1]; ils appartiennent cependant à une couche dont la vitesse de rotation doit être peu différente de celle de $H\alpha$, comme étant à un niveau voisin. Un autre exemple, plus frappant encore, est fourni par les protubérances, pour lesquelles la valeur de ξ excède, à l'équateur, de plus de deux degrés la valeur correspondante relative aux filaments.

Ceux-ci, d'autre part, tournent comme les taches. Ce fait remarquable paraît indiquer que leur origine doit être recherchée dans la photosphère même. Nous reviendrons plus loin sur cette question. Signalons seulement ici une particularité curieuse de la vitesse de rotation des filaments, liée au niveau élevé de ces objets au-dessus de la chromosphère.

On peut, pour déterminer cette vitesse, employer deux procédés différents : le premier consiste à relever, comme pour les flocculi, les positions successives sur un parallèle donné, d'un même filament au cours de son passage sur le disque et à en déduire le ξ moyen parcouru en 24 heures. Mais on peut aussi — certains filaments sont assez stables et ont une durée suffisamment longue pour cela — calculer ξ d'après le temps qui s'écoule entre deux passages successifs à un même méridien de l'hémisphère visible, par exemple au méridien central. Or, suivant que l'on emploie l'un ou l'autre des deux procédés, on trouve des vitesses différentes. C'est le second qui fournit les résultats inscrits dans le tableau de la page précédente. Le premier conduit toujours à des vitesses plus grandes et inégales d'un filament à l'autre. Le niveau élevé des masses absorbantes constituant les fila-

1. Tout au moins à l'équateur. Aux latitudes élevées, le nombre de mesures effectuées par Hale est trop restreint pour qu'on puisse considérer l'inexistence du ralentissement polaire comme établie.

ments, variable avec leur forme, leur hauteur et leur densité, suffit évidemment à expliquer cette discordance. Les augmentations de la vitesse angulaire observées quand on emploie le premier procédé ne seraient qu'apparentes et proviendraient de la vitesse linéaire plus grande des points mesurés. Le second procédé permettrait seul de connaître la vitesse angulaire vraie.

Il est possible, cependant, que celle-ci subisse aussi des variations passagères qui se superposeraient au phénomène précédent. Pour les mettre en évidence, il est nécessaire de déterminer les vitesses de passage et les vitesses vraies d'un très grand nombre de filaments et de les comparer aux hauteurs des protubérances correspondantes, au moment de leur passage au bord. Nous avons entrepris dans ce but, à Meudon, de construire des cartes synoptiques sur lesquelles sont représentés, pour chaque rotation synodique du Soleil, tous les filaments relevés sur les images du calcium ionisé obtenues au spectrohéliographe [1]. Toutes les cartes relatives à la période 1919-1927 sont actuellement terminées. Elles facilitent grandement l'identification des filaments et la recherche de ceux d'entre eux demeurés assez stables au cours de leur existence pour se prêter aux mesures. Les résultats publiés jusqu'ici et qui ne se rapportent encore qu'aux années 1919 et 1920, révèlent que les niveaux estimés d'après l'excès de la vitesse de passage du côté des filaments correspondant au sommet des protubérances (côté est dans l'hémisphère est et côté ouest dans l'hémisphère ouest) sur la vitesse vraie, sont en accord, à 10 % près, avec les hauteurs observées directement au bord. Il semble donc que le niveau de l'absorption soit la cause principale de la discordance entre les vitesses de passage et les vitesses vraies des filaments.

Cependant, un travail récent de Royds sur la rotation des filaments de l'hydrogène, observés à Kodaikanal de 1926 à 1929, conduit à des résultats un peu différents, comme si les conditions de l'absorption n'étaient pas les mêmes pour les deux vapeurs. Royds trouve que la hauteur des filaments de l'hydrogène est seulement les trois quarts de celle des protubérances correspondantes. De plus, la base des filaments ne serait pas en contact avec la chromosphère, mais à une hauteur notable au-dessus de celle-ci. L'absorption, sur les images Hα, ne nous révélerait ainsi que de minces tranches horizontales des protubérances, détachées de la sphère sur laquelle elles se projettent.

1. Les cartes contiennent aussi les plages faculaires et les taches, pour permettre l'étude de leur répartition comparée à celle des filaments.

VIII

Indiquons maintenant les phénomènes caractéristiques dont les plages faculaires, les filaments et les protubérances sont le siège au cours de leur existence. Ces phénomènes commencent à être bien connus grâce à la documentation abondante réunie patiemment dans les Observatoires qui se consacrent à leur étude.

Les plages faculaires, visibles pendant toute leur traversée du disque et images à peu près fidèles des facules, nous fournissent le moyen de connaître l'évolution de celles-ci qui, étant observables seulement près des bords de l'astre, se prêtent mal à une étude directe. Nous avons déjà signalé que leur nombre et leur importance étaient liés à la période undécennale. Rares ou même absentes au moment du minimum d'activité, elles deviennent nombreuses et étendues aux époques de maximum. Elles forment alors parfois une suite ininterrompue d'un bord du disque à l'autre, le long des zones royales, qu'elles dessinent remarquablement.

La « vie » d'une plage faculaire est, en général, plus longue que celle d'une tache; c'est dire qu'elle atteint souvent plusieurs mois. Butler en a fait une étude très complète, basée sur l'examen de plus de 3.000 plages, enregistrées au spectrohéliographe pendant la période 1912-1922. Les phénomènes se succèdent habituellement de la façon suivante :

a) un petit flocculus rond apparaît dans une région du disque où nul signe d'activité ne se manifestait auparavant;

b) le flocculus s'allonge, avec tendance à une orientation déterminée et devient une plage faculaire;

c) une ou plusieurs taches apparaissent au sein de la plage.

Ces premières phases se succèdent assez vite, en quelques jours, le plus souvent. Pendant cette période, la plage ne cesse de croître en étendue et reste compacte. Son complet développement atteint, elle demeure stationnaire pendant un certain temps, puis, un commencement de dispersion se produit qui s'accentue graduellement; l'étendue augmente encore, les taches disparaissent; les parties les plus brillantes perdent peu à peu leur éclat et la région troublée finit par reprendre l'aspect habituel du réseau chromosphérique.

L'orientation des plages faculaires, dans la période où elles ont pris leur allongement normal, n'est pas distribuée au hasard. Dans chaque hémisphère, les plages sont inclinées sur l'équateur de telle sorte que leur extrémité ouest en est plus rapprochée que leur extrémité est. Les inclinaisons varient de 0° à 40°, sans relation nette avec la latitude héliographique. On sait que les groupes de

taches présentent des inclinaisons analogues; mais celles-ci sont beaucoup plus faibles — elles dépassent rarement 11° — et croissent régulièrement avec la latitude.

Si les plages faculaires apparaissent assez brusquement, elles s'effacent, par contre, de façon très graduelle. Les protubérances présenteraient plutôt le phénomène inverse. Leur formation est assez lente, leur durée, du même ordre que celle des plages faculaires; mais leur disparition est souvent très rapide.

En fait, les phases caractéristiques de leur évolution n'ont pu être reconnues qu'à partir du moment où on a su obtenir des images des couches supérieures de la chromosphère sur lesquelles on suit les traces de leur passage dans l'hémisphère visible. La région qu'occupera la protubérance est d'abord jalonnée sur le disque par de petites taches sombres diffuses, reliées entre elles par des sortes de couloirs entre les flocculi, auxquels Deslandres a donné le nom d'*alignements*. Puis, les taches se précisent, se multiplient et, au bout de quelques jours, un filament continu est formé. Celui-ci subsiste ensuite avec des modifications fréquentes de forme pendant un temps très variable, mais qui peut atteindre plusieurs mois. Chacun de ses *levers* est annoncé par l'apparition, au bord est, de la protubérance dont il marque l'action absorbante; celle-ci réapparaît, au bord ouest, à chacun de ses *couchers*.

La disparition se produit de deux façons : tantôt, le filament perd peu à peu la netteté de ses contours, il se divise en plusieurs tronçons et, au bout de quelques jours, s'efface tout à fait. Tantôt, au contraire, alors qu'il paraît stabilisé dans son complet développement, il manifeste tout à coup une vive agitation : la masse absorbante se déforme, s'élargit, devient diffuse, puis transparente aux détails de la chromosphère; en même temps, elle se déplace rapidement parmi les flocculi et finit par s'évanouir sans laisser aucune trace. Le phénomène entier dure parfois moins d'une heure. Il n'est pas rare, d'ailleurs que, dans la même région de la chromosphère, apparaisse au bout de quelques jours un nouveau filament, de structure analogue au précédent et de durée aussi longue. Les protubérances ont donc assez fréquemment un caractère intermittent.

La disparition soudaine de certains filaments ne peut être étudiée d'une façon complète avec le seul spectrohéliographe. D'une part, en effet, les mouvements horizontaux observés ne sont, en réalité, qu'une des composantes du déplacement dans l'espace, l'autre composante étant dirigée dans le sens du rayon visuel. Or, si les mouvements sont rapides, la raie employée à former l'image sera affectée d'un effet Doppler-Fizeau important et pourra cesser d'être isolée dans la fente sélectrice; la partie la plus intéressante du phénomène échappera à l'instrument. D'autre part, même si la raie reste contenue dans la fente, le spectrohéliogramme ne nous fournira aucun renseignement sur le sens et la grandeur des mouvements radiaux.

Une transformation simple de l'appareil, imaginée par Deslandres, permet de remédier à ce double inconvénient. Elle consiste : 1° à ouvrir la fente sélectrice assez largement (1 mm. dans l'instrument de Meudon) pour qu'elle contienne non seulement la composante correspondant à la couche supérieure mais aussi les composantes voisines [1] et une partie étroite des ailes; 2° à transformer le mouvement uniforme des organes mobiles en un mouvement discontinu, l'amplitude des déplacements successsifs étant réglée de manière que les images de la fente sélectrice élargie se juxtaposent sur la plaque photographique; 3° à disposer devant la première fente un obturateur qui ne laisse entrer la lumière dans l'appareil que pendant les instants où celui-ci est immobilisé. Le spectrohéliographe ainsi modifié devient le *spectro-enregistreur des vitesses radiales*. L'image qu'il fournit est encore circulaire, à cela près que ses bords sont dentelés et on y retrouve les principaux détails des spectrohéliogrammes. Mais elle révèle de plus, en chaque point du disque solaire, l'aspect et la position de la raie étudiée.

On a reconnu, par ce procédé, que les filaments en cours de disparition rapide sont bien animés de mouvements dirigés vers l'observateur et dont la vitesse dépasse parfois 100 kilomètres par seconde. Dans un cas, observé à Meudon, la composante K_3, correspondant à la masse mobile de vapeur absorbante, était encore visible alors que celle-ci se trouvait déjà à plus de 200.000 kilomètres au-dessus de la chromosphère. Les observations effectuées quand le phénomène se produit au voisinage du bord montrent, d'ailleurs, que cette hauteur considérable est bien souvent dépassée. La composante radiale du mouvement d'ascension n'étant plus prépondérante, le spectrohéliographe seul suffit pour suivre la protubérance qui, se détachant sur le fond du ciel, peut encore être décelée lorsque sa densité est devenue si faible qu'elle ne donnerait plus aucune trace d'absorption sur le disque. Récemment, dans ces conditions, Royds a photographié, à Kodaikanal, une protubérance qui a dépassé la hauteur énorme de 900.000 kilomètres.

1. C'est la raie K qui est presque toujours employée parce que ses composantes sont bien définies et se prêtent mieux aux mesures que les composantes des raies de l'hydrogène.

Les dessins et les photographies de protubérances obtenus avant que l'on sache enregistrer leur passage sur le disque, se chiffrent par centaines de mille. Ils ont permis à de nombreux auteurs, en particulier à Evershed, de fixer les lois principales de la distribution en latitude et de la fréquence de ces phénomènes. Les voici, succinctement résumées :

Dans chacun des deux hémisphères séparés par l'équateur solaire, il existe deux zones spécialement riches en protubérances. La première coïncide à peu près avec la zone royale correspondante; la fréquence des protubérances y varie comme celle des taches et, de même que pour celles-ci, la latitude de fréquence maxima décroît progressivement au cours d'un même cycle d'activité, de minimum à minimum.

La seconde zone prend place aux latitudes élevées. Les protubérances commencent à y apparaître vers 50°, peu après le maximum de taches. Elles atteignent leur plus grande fréquence avant le minimum suivant, en remontant lentement vers les pôles. Au minimum même, leur activité a fortement diminué. Puis, elles redeviennent plus nombreuses en continuant à se rapprocher des pôles, qu'elles atteignent au maximum suivant. Elles disparaissent presque aussitôt après.

La classification des protubérances d'après leur aspect ne pouvait avoir grande signification tant que l'on ne les considérait qu'au bord solaire, car on attribuait alors à leur projection sur le contour apparent une importance qu'elle n'a pas nécessairement. Evershed a, le premier, tenté de classer ces phénomènes en tenant compte des formes et des positions en longitude des filaments qui marquent leur traversée du disque sur les spectrohéliogrammes K_3 ou $H\alpha_3$. Ses investigations, que nous complétons à l'aide des premiers résultats de recherches nouvelles actuellement poursuivies à Meudon, peuvent être exposés de la façon suivante :

Les protubérances des zones royales se divisent en deux classes principales dont les caractères sont très nettement différents. La première se compose de protubérances étendues, de longue durée, que leur stabilité habituelle a fait nommer *quiescentes*. Au bord, elles apparaissent souvent comme formées d'arches successives reliées à leur sommet et dont les bases s'appuient sur la chromosphère. Quand elles progressent sur le disque, cette structure reste visible tant que la perspective le permet. Au moment où elle disparaît, les masses absorbantes se présentent sous leur largeur minima; on ne voit plus, en quelque sorte, que le « tablier » de ces ponts gigantesques. Leur orientation sur le disque est très remarquable. A peu près parallèles aux méridiens lorsqu'elles se trouvent au voisinage immédiat de l'équateur, elles forment un angle de plus en plus grand avec eux à mesure que leur latitude croît. Dans la presque totalité des cas, le sens dans lequel elles sont dirigées est tel que leur extrémité ouest a une latitude plus basse que leur extrémité est.

Un des caractères les plus frappants de ce genre de protubérances est leur étroitesse relative vraiment extraordinaire. Dans une observation faite à Meudon, la largeur du pont ne dépassait pas en certains points 3.000 kilomètres, alors que sa longueur était de 600.000 et sa hauteur moyenne, de 90.000.

Les protubérances quiescentes ne sont jamais associées aux taches et apparaissent, de préférence, dans les régions de la chromosphère non perturbées. Parfois, cependant, elles prennent naissance dans une plage faculaire, au moment où celle-ci achève de se dissoudre. Dans ce cas, elle s'élève dans une sorte de couloir qui scinde la plage en deux parties.

Les protubérances formant la seconde des deux classes que nous avons distinguées dans les zones de basses latitudes, diffèrent beaucoup des précédentes. Au bord, elles ont souvent la forme de jets, intenses et peu élevés, droits ou recourbés, isolés ou réunis en groupes. On leur a donné le nom de *protubérances éruptives*. Leur spectre contient les raies de nombreux éléments métalliques, comme si la couche renversante elle-même était soulevée au-dessus de son niveau habituel. Elles sont, en général, animées de mouvements rapides et incessants et se montrent toujours associées aux plages faculaires actives; leur durée est très courte. Sur le disque, leur trace n'a jamais été suivie avec certitude. Peut-être ont-elles quelque connexion avec certains petits filaments, très fins et fugitifs, qui apparaissent souvent, comme elles, dans les plages faculaires en cours de développement.

Un travail récent de Hale, effectué à l'aide d'un appareil nouveau qui permet d'observer visuellement la chromosphère en lumière monochromatique et auquel l'astronome américain a donné le nom de *spectrohélioscope*, semble donner quelque créance à cette manière de voir.

Le spectrohélioscope, dont le principe avait été indiqué autrefois par Janssen, consiste en un spectroscope dispersif muni, comme un spectrohéliographe, d'une fente sélectrice. On vise cette fente avec un oculaire à grand champ. Un dispositif mécanique fait osciller rapidement et synchroniquement l'image initiale du Soleil devant la première fente et celle de la fente sélectrice dans l'oculaire. Grâce à la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, l'œil observe alors une image chromo-

sphérique identique à celle qu'aurait donné photographiquement un spectrohéliographe de même dispersion.

Ce procédé a encore l'avantage de fournir immédiatement la vitesse radiale du détail observé, que l'on déduit de la position de la fente sélectrice correspondant à son maximum de visibilité. Il a permis à Hale de suivre l'évolution des petits filaments dont il a été question plus haut. La conclusion de son travail est que ces filaments sont comme des ponts jetés au-dessus de la chromosphère. Une de leurs extrémités aboutit en général à une tache et s'y termine par un très petit cercle noir situé juste au bord extérieur de la pénombre. Les déplacements de la vapeur, le long du filament, se produisent toujours *vers* la tache ; ils sont le plus souvent très rapides, leur composante radiale variant entre 25 et 115 kilomètres par seconde.

La forme des filaments de Hale et la célérité de leurs mouvements sont donc en assez bon accord avec celles des protubérances éruptives. Toutefois, avant de pousser plus loin l'analogie, il faudra vérifier que leur spectre contient bien les mêmes raies métalliques que ces dernières, quand on les observe extérieurement au bord.

Il nous reste à examiner les protubérances polaires. Elles se traduisent sur le disque par des filaments diffus, constitués le plus souvent par une succession de plages sombres, reliées par des alignements et dont la direction est sensiblement celle des parallèles solaires. Ces marques discontinues sont quelquefois assez rapprochées et persistantes pour former autour de l'astre des cercles entièrement fermés dont la latitude varie, comme nous l'avons vu, avec la phase de la période undécennale. Au bord, les protubérances polaires affectent fréquemment la forme de pyramides ou de colonnes. Remarquons cependant que, par suite de leur orientation, elles se présentent alors en élévation transversale pour l'observateur. Il est possible que la différence de leur aspect avec celui des protubérances équatoriales n'ait pas d'autre cause.

Quelle est l'origine des protubérances? Cette question a suscité de très nombreuses hypothèses, mais toutes, jusqu'à présent, ont été impuissantes à expliquer, avec un égal succès, les particularités si nombreuses et si variées de ces phénomènes. On a beaucoup invoqué, récemment, la pression de radiation sélective qui pourrait, dans des régions du disque où se manifeste un faible excès de rayonnement, chasser de la chromosphère et maintenir ensuite à une altitude élevée, la matière lumineuse qui constitue les protubérances. Une nouvelle augmentation du rayonnement au-dessous d'une protubérance déjà formée rendrait compte des mouvements d'ascension, suivis de disparition, qu'on observe parfois.

On n'a cependant aucune preuve directe que l'éclat de la photosphère soit plus grand dans les régions occupées par les protubérances, tout au moins par les protubérances du type quiescent. Celles-ci, comme nous l'avons déjà signalé, apparaissent principalement dans les parties du Soleil non troublées, loin des taches et des facules actives. Est-ce là une objection suffisante? La concordance exacte entre la vitesse angulaire de rotation des protubérances, déterminée par la méthode directe, et celle des taches, semble bien indiquer pourtant que les premières sont issues de la photosphère ou de couches sous-jacentes.

La structure filiforme des protubérances suggère l'idée de lignes de discontinuité séparant, sous la surface, de grands courants de matière aux vitesses différentes. Mais, si la cause est admise, comment expliquer les effets observés? Quelles sont les lois qui régissent l'orientation systématique, si curieuse, des protubérances? Par quel mécanisme leur nombre, leur importance et leur distribution sont-ils liés à l'activité des taches? Autant de questions qui restent sans réponse. D'ailleurs, si elles étaient résolues, nous serions peut-être sur le point de connaître aussi les causes mêmes de la périodicité solaire. Or, celles-ci demeurent encore, à l'heure actuelle, profondément énigmatiques.

IX

Cette étude des phénomènes chromosphériques serait incomplète si nous ne disions quelques mots de l'influence, habituellement admise aujourd'hui, que certains d'entre eux peuvent avoir sur les phénomènes magnétiques terrestres.

On sait, depuis les travaux de Lamont et de Sabine, vers le milieu du siècle dernier, que l'amplitude de la variation diurne des composantes du champ terrestre, ainsi que le nombre et l'importance des orages magnétiques, subissent des variations parallèles à celles de l'activité des taches. Mais c'est seulement à la suite d'une observation, faite par Carrington et Hodgson, que l'on songea à établir une corrélation précise entre des éruptions solaires et l'activité magnétique terrestre.

On connaît cette observation fameuse : le 1er septembre 1859, Carrington et Hodgson, indépendamment, virent naître de vives lueurs dans un groupe de taches. Ces lueurs se déplacèrent rapidement pendant cinq minutes, puis s'évanouirent. A l'instant précis du phénomène, les instruments magnétiques de l'Observatoire de Kew, près Londres, enregistrèrent une perturbation très nette, quoique

peu intense. Quelques heures après, un violent orage magnétique, qui dura plusieurs jours, se déclancha sur le globe. La première perturbation s'était propagée avec la vitesse de la lumière et paraissait produite par un rayonnement de nature électromagnétique; le grand orage faisait plutôt penser à un jet de particules électrisées relativement lentes, issues de la région solaire troublée.

L'observation de Carrington indiquait un paroxysme d'activité locale qui ne semble pas être souvent atteint. Mais des phénomènes éruptifs assez nombreux, se développant dans la chromosphère, ont déjà été observés avec le spectrohéliographe, complété par le spectro-enregistreur des vitesses et, plus récemment, avec le spectrohélioscope. Ils se manifestent ordinairement par l'apparition presque soudaine, dans une plage faculaire, d'une masse lumineuse aux contours changeants qui, après avoir atteint un éclat parfois tout à fait exceptionnel, reprend en quelques heures, ou même en un temps plus court, l'intensité des régions voisines. L'éruption, comme on peut le voir quand elle se produit près du bord, est presque toujours accompagnée de protubérances éruptives, la masse principale restant localisée au niveau de la chromosphère.

Presque toutes les manifestations de ce genre signalées jusqu'ici, tout au moins dans les régions centrales du disque, ont correspondu avec des orages magnétiques intenses qui éclatent avec un retard moyen d'environ 45 heures sur le phénomène solaire. Il y a là un fait favorable à l'hypothèse de jets dirigés de particules, émis par les régions de l'astre perturbées, pendant la durée de l'éruption. On peut objecter cependant que de grands orages magnétiques ont été signalés alors que le Soleil ne manifestait aucune activité particulière. Mais, sur celui-ci, les phénomènes éruptifs sont très brefs; on ne doit donc pas être surpris qu'ils passent souvent inaperçus, car les observations solaires, surtout les observations spectrohéliographiques, sont encore bien loin d'être continues. Il existe toutefois une objection plus grave : on a souvent constaté que certains grands orages magnétiques ont une tendance marquée à se reproduire à intervalles de 27 jours. Comment expliquer cette périodicité si les jets de particules sont limités à la durée des éruptions? Il semble difficile d'admettre que l'activité des régions d'où s'échappent ces particules, soit précisément liée à la durée de la rotation synodique du Soleil.

Ces régions seraient-elles plutôt, comme le pense Deslandres, le siège d'une émission à peu près continue, tout au moins pendant un certain temps? Les éruptions ne constitueraient alors que des accidents susceptibles d'influencer seulement l'importance des orages magnétiques correspondants.

On voit que la question est encore loin d'être éclaircie et que, s'il est hors de doute, depuis les beaux travaux de Birkeland et de Störmer, que des particules électrisées, issues du Soleil, peuvent atteindre la Terre, les circonstances d'émission de ces particules sont encore bien peu connues, ainsi d'ailleurs que le mécanisme par lequel elles déclanchent les perturbations magnétiques observées.

Pour que l'étude de ces problèmes progresse davantage, il serait nécessaire avant tout que les observations du Soleil fussent aussi continues que les observations magnétiques. Une telle continuité ne paraît pas impossible à réaliser. Elle dépend surtout d'une entente internationale qui permettrait de répartir judicieusement sur le globe les stations d'observation, munies des spectrohéliographes et spectrohélioscopes « standards » nécessaires.

Déjà, sous l'impulsion de l'Union astronomique internationale, et dans le but de fournir une base d'appréciation à ceux qu'intéresse la connexité entre les phénomènes solaires et terrestres, des nombres-indices caractérisant l'activité des principaux phénomènes de la surface et de la chromosphère pour chaque jour d'observation, sont publiés dans un Bulletin trimestriel[1] qui centralise les résultats obtenus dans les Observatoires solaires du monde entier.

Dans un ordre d'idées analogue, l'Union radiotélégraphique scientifique internationale (U.R.S.I.) a créé récemment un service quotidien d'informations rapides par radio-diffusion qui comprend, outre des renseignements sur la météorologie et la Physique du Globe, des indications sur l'activité solaire et sur les phénomènes exceptionnels dont l'astre aurait pu être le siège. En France, le message relatif à ces dernières indications est rédigé d'après les observations faites à Meudon, au spectrohéliographe.

Ainsi, la coopération internationale entre astronomes et géophysiciens s'organise et se développe, et il est permis d'espérer que, grâce à elle, la recherche des liens entre les phénomènes solaires et l'activité du magnétisme terrestre, qui a conduit déjà à d'appréciables découvertes, sera plus féconde encore dans l'avenir.

X

Au terme de cet exposé, nous sommes mieux à même d'apprécier l'importance du rôle joué par

1. *Bulletin for Character Figures of Solar Phenomena*, publié par l'Observatoire-Centre de Zurich.

les recherches spectrohéliographiques dans la suite des travaux qui ont amené nos connaissances sur le Soleil à leur état actuel. Elles sont loin, d'ailleurs, d'avoir épuisé leurs possibilités. En dehors de l'intérêt que présente l'enregistrement quotidien des images du calcium ionisé et de l'hydrogène dont la lente accumulation, au cours des périodes undécennales successives, permet de mieux préciser les relations qui existent entre les divers phénomènes chromosphériques, de grands progrès restent à accomplir dans l'étude de la structure des vapeurs, à peine ébauchée jusqu'ici. Ces progrès sont liés à la création de spectrohéliographes puissants et disposés de manière à fournir simultanément des images avec deux ou plusieurs radiations différentes. Enfin, les travaux de Lyot ont montré récemment que la méthode de Deslandres et Hale pouvait, avec des précautions spéciales, être adaptée à la photographie de la couronne.

Souhaitons que ces applications nouvelles soient bientôt réalisées. Elles ne peuvent manquer de donner d'intéressants résultats qui contribueront à hâter la solution des nombreux problèmes de physique solaire encore en suspens.

L. d'Azambuja,
Astronome à l'Observatoire de Meudon

NOTES SUR LE SISAL SOUPLE (PROCÉDÉS CHIMIQUES)

Le sisal, dont l'industrie humaine utilise la fibre à raison de 400.000 tonnes environ par an, subit une crise grave, comme la plupart des matières premières. Il est à l'ordre du jour de le sauver en élargissant son marché commercial. Et cela a suscité des recherches et des efforts que nous allons succinctement passer en revue.

La fibre commerciale ou sisal est tirée principalement des variétés d'agaves rigida, plantes du genre amaryllidacé originaires de l'Amérique. Les espèces les plus exploitées sont le henequen, le mexicana (ou zapupe) et le sisalana d'où est sorti le mot sisal. (Il ne faut pas les confondre avec l'aloès du bassin méditerranéen.) L'espèce agave *rigida sisalana*, peut être inerme ou pas inerme. On préfère la première pour faciliter les récoltes, car la piqûre des pointes est douloureuse et parfois vénéneuse[1].

Les utilisations industrielles les plus importantes sont : la ficelle agricole utilisée par les lieuses moissonneuses, puis la ficelle d'emballage, les câbles marins (mélangés avec le chanvre), certains tapis, carpettes, enfin des objets divers tels les chapeaux de jardin ou de plage, brosses, etc., etc.

La consommation la plus importante est celle des ficelles agricoles et d'emballage, parce que la résistance à la traction de cette fibre est considérable, mais aussi, et c'est ce qui fait sa valeur dans l'emploi des lieuses moissonneuses, ce lien est rigide, un peu élastique et se coupe net comme du bois.

Ces diverses caractéristiques assuraient au sisal, avec sa couleur blanche (sauf pour le sisal africain, de qualité inférieure et de teinte jaunâtre), une supériorité sur le chanvre et le jute dans les emplois que nous venons d'énumérer.

Mais cette rigidité est devenue sa faiblesse parce qu'il est très difficile d'en faire des toiles, même pour la sacherie. Or c'est de ce côté qu'on cherche à élargir le marché du sisal. Jusqu'à aujourd'hui la demande en fibres rigides de sisal avait épuisé la production des plantations, cantonnées principalement au Mexique et Amérique du Sud, aux Indes néerlandaises, au Kénia anglais, au Congo belge et quelques autres pays, notamment les colonies françaises. Dans le tonnage total (400.000 tonnes environ) nous ne figurons guère que pour 4.000 tonnes (Soudan et Madagascar en particulier) soit 1/000me de la production mondiale. Nous n'avons qu'une faible voix dans ce concert économique qui fait grand bruit devant la baisse considérable des prix de vente.

Ceux-ci stationnent en ce moment pour les qualités ordinaires aux environs de 9-12 livres sterling (à 98 fr.) et viennent d'atteindre 13-15 livres en même temps que cette monnaie tombait à 90 fr.

La situation des variétés fines et très blanches de Java, bien que mieux payées ne rétribuent pas davantage les producteurs, en définitive.

On peut dire qu'aux cours actuels le sisal ne couvre plus les frais d'exploitation[1].

Or il paraît évident qu'en élargissant le marché par l'emploi du sisal dans la sacherie et les toiles on dégagera le marché de la ficelle. Les cours alors, remonteront.

C'est certain à la condition que les surfaces plantées ne soient pas augmentées. Mais à la suite des bonnes années, de nombreuses plantations furent commencées. Elles vont bientôt pouvoir fournir des feuilles. Si le tonnage nouveau déborde les besoins du nouveau marché les difficultés seront aggravées.

On a eu trop tendance à calculer sur le papier selon les possibilités limites des besoins du nouveau marché, sans chercher à définir la courbe de pénétration possible de ce marché par les nouveaux produits (sacs et toiles de sisal) par rapport à la courbe de production des jeunes plantations arrivées à maturité. Et enfin on a négligé le facteur de défense du jute et du chanvre menacés sur leur terrain commercial. Les cours du jute notamment viennent brusquement de fléchir de près de 50 %. Ce faisant cette fibre devient presque aussi bon marché que celle de sisal. C'est à notre sens, une indication qu'on aurait tort de négliger dans les milieux intéressés par le sisal.

Quoi qu'il arrive, la bataille est engagée. Il reste donc intéressant de suivre les moyens techniques mis en œuvre pour la gagner. Bien entendu notre étude portera, principalement, sur la production et les recherches françaises.

II

Passons d'abord en revue les premières mesures de protection prises.

Pour remédier passagèrement à la détresse des

1. Nous renverrons le lecteur aux ouvrages qui traitent des Agaves. Ils sont nombreux. Dans notre étude nous ne nous occupons que d'un cas particulier lié à la crise des matières premières.

1. Le marché du sisal est hors cote, c'est-à-dire que ses cours échappent au contrôle officiel et cela permet les plus étranges spéculations.

planteurs du Soudan, le gouvernement de l'Afrique occidentale, leur alloue une prime d'exportation de 800 fr. par tonne, tant que les cours restent au-dessous d'un certain nombre de livres sterling. Nous ne savons pas si ce gouvernement colonial a pensé aux fluctuations du sterling. Il se pourrait alors que le secours soit illusoire et que l'administration française réédite l'erreur de l'office des stocks américains, qui établit les marchés sans tenir compte du change.

Cette somme de 800 fr., il est vrai, est prélevée sur une taxe qui frappe les sisals d'importation, ce qui permettra, le cas échéant de rectifier les rapports entre les limites numériques et la valeur monétaire.

Mais cette prime ne suffit pas. Elle n'est qu'un palliatif et les exploitations continuent à travailler à perte.

Devant ce problème angoissant, les intéressés après avoir épuisé toutes les compressions possibles de frais généraux, arrêté l'agrandissement de leurs plantations, ont cherché à mieux utiliser la plante elle-même.

Un premier effort dans ce sens a été tenté par l'utilisation de la pulpe des feuilles, obtenues par défibrage et qui représente de 96 à 97 % du poids total de la feuille.

On ne tire guère que 3 à 4 % de moyenne, valeur poids, de fibres du sisal. Le reste s'en va aux déchets. Il faut tenir compte cependant que ces déchets entraînent une certaine quantité de fibres brisées par la machine, qui représentent 1 à 0,8 % de fibres perdues à ajouter au chiffre total.

Les pulpes contiennent certains sucres figurant pour 3 à 4 % sur la valeur du poids du jus de pulpe. Ce jus représente lui-même 98 % du poids de la pulpe (sans déchets de fibres), ce qui réduit à 2 % le déchet organique proprement dit.

Un nouveau procédé par catalyse aurait paraît-il, permis de récupérer une partie des matières cellulosiques contenues en suspension colloïdale dans le jus et sous transformation catalytique, de les amener à la forme d'hydrates de carbones susceptibles, par fermentation, de porter le taux des sucres fermentescibles à 12 ou 13 %. — Le gain serait donc appréciable et le prix de revient de l'alcool sérieusement amélioré.

Mais même sous des auspices aussi favorables, la solution qui consiste à amortir le prix de revient du sisal par la fabrication de l'alcool de pulpe, reste très aléatoire.

Voici pourquoi :

Cette distillation se fait dans des appareils Pingri de Lille qui permettent d'obtenir de l'alcool pur (100 %). Cet alcool peut donc très avantageusement servir à faire du carburant pour moteurs.

C'est cette solution qui a été envisagée par le gouvernement de l'A. O. F. engagé à acheter la production, pendant un temps déterminé, pour fabriquer du carburant colonial à 25 ou 50 % d'alcool et 75 ou 50 % d'essence de pétrole.

Le marché est donc étroitement limité à la consommation locale et la faculté de vente — en admettant qu'un arrêté ou un décret rendent le mélange obligatoire — est égale à la totalité des importations d'essence, divisée par 2 ou par 4 selon qu'il s'agit de carburant à 25 ou 50 % d'alcool.

La somme de ces importations ainsi réduites représente la capacité de production des plantations produisant au maximum 2.000 tonnes de fibres de sisal, ce qui est peu de chose.

Donc à la première usine concurrente qui se formera, la saturation du marché se produira. Or, les arrêtés et décrets réglementant la vente de l'alcool de bouche sont prohibitifs au plus haut point, ce qui ferme tout autre débouché.

L'avantage commercial tiré par ce moyen est donc très étroitement limité. Il apparaît même comme particulièrement égoïste et n'a nullement l'allure d'un procédé d'économie politique généralisée.

Et d'autre part, cette usine qui n'a pas encore fonctionné est déjà menacée dans ses bases par un nouveau procédé.

L'office national des carburants a envoyé dernièrement, M. Charles Roux, étudier l'Afrique occidentale, le moyen de distiller du pétrole et de l'essence, en partant de la transformation catalytique, par le charbon, des cosses ou des enveloppes, des graines oléagineuses non utilisées ou inexportables. Telles sont les graines de baobab ainsi que de nombreuses variétés de plantes de brousse, et les arachides et karités du haut Soudan, de la Mauritanie, de certaines contrées de la haute Volta, que les tarifs actuels du chemin de fer (et même des camions) ne permettent plus d'expédier. Or le carburant obtenu est remarquable. De plus l'installation des appareils de distillation est extrêmement simple. Un particulier peut facilement s'en servir pour obtenir le pétrole et l'essence nécessaires à sa consommation personnelle et même un peu plus. D'où possibilités d'échanges locaux très étendus.

Cette distillation amènerait de nouvelles ressources chez l'indigène, qui commence à souffrir cruellement de la disette commerciale actuelle. Et ceci est un argument impératif étant donné la politique négrophyle que nous pratiquons dans nos colonies africaines. Mais cela aurait aussi

pour conséquence de concurrencer sérieusement la production de l'alcool de pulpe de sisal. Il est évident qu'on n'ira pas augmenter le prix de revient de son propre pétrole en achetant de l'alcool forcément plus cher, chez un tiers.

Il y aurait bien un moyen de concilier ces extrêmes mais il se heurtera aux résistances infiniment puissantes et éloquentes des producteurs de pétrole. Et au surplus cela nous entraîne hors de cette étude.

Nous avons voulu seulement démontrer dans ce chapitre que les premières tentatives faites pour améliorer le sort commercial du sisal, c'est-à-dire compression des frais généraux, réduction des surfaces cultivées, primes à l'exportation, utilisation des déchets, ne donnaient que des résultats incomplets. Il faut ajouter autre chose.

Cette autre chose est l'assouplissement et en même temps la divisibilité des fibres de sisal aussi loin que possible, ou dans une mesure déterminée, de manière à pouvoir tisser facilement ce textile resté jusqu'ici raide, et assez grossier.

Les recherches chimiques faites dans ce sens font l'objet de cette étude.

III

Mais avant de faire appel aux chimistes, certaines personnes trompées par des résultats accidentels provenant du défibrage, ont cru pouvoir obtenir du sisal souple et fin par peignage ou brossage, voire par calandrage.

Lorsqu'on examine la fibre humide, au sortir des machines à défibrer, notamment de la Corona, on remarque la facilité avec laquelle, sous la simple pression des ongles ou d'une aiguille, il est loisible d'écarter les fils qui composent cette fibre[1]. On s'aperçoit alors que les grosses fibres commerciales peuvent se séparer et donner de 2 à 7 fils, selon qu'il s'agit des fibres de la nervure centrale de la feuille, du talon, ou des bords. Elles donnent aussi des fibres courtes ou fibrilles.

Plus on s'approche du centre de la feuille en s'éloignant de sa pointe, plus la fibre est grossière et riche en fibrilles dénommées « copeaux ». La forme d'une fibre de sisal (et même celle du fil) est sensiblement conique. Ce fait gênera toujours les filateurs et fera reprocher au sisal son manque de régularité diamétrale. Nous avons indiqué le remède en proposant d'utiliser les pointes à part; par exemple de les réserver aux toiles (tabliers, torchons, nappes et serviettes de restaurant, etc.) selon leur degré de finesse et de garder les talons des fils pour la toile à sacs.

Mais cette faculté de division des fibres a poussé à la recherche de procédés mécaniques, donc violents, de la formation des fils.

Sous prétexte qu'avec des aiguilles on peut aisément isoler les fils dans la fibre humide on a cru pouvoir obtenir ce résultat en série avec des peigneuses, lisseuses, brosses, etc.

C'est très difficile et totalement inutile sauf pour la fibre de corderie. La fibre fine, celle qui est composée des fils les plus ténus, donc les plus intéressants pour la filature et le tissage, casse et se trouve entraînée dans les déchets. On a donc le résultat paradoxal de classer dans les qualités inférieures la plus belle partie des fibres.

Ensuite, la séparation est très irrégulière. Les gommes qui enrobent les fibres ne se prêtent pas facilement à la division des fils. Les pointes des peignes ou des brosses glissent sur leur masse. On a en définitive simplement lissé le travail de la défibreuse Corona, sans grand résultat appréciable et on a gaspillé une bonne partie des fils fins.

Enfin, même si l'on pouvait, sur de la fibre humide, avec une machine, refaire à grande vitesse et sans trop casser de fils, le travail patient de la main divisant, avec une certaine dose d'adresse, les fils de la fibre au moyen d'une pointe d'aiguille, bref si la machine avait l'esprit et l'œil assez sûrs pour accomplir ce travail arachnéen, le fil resterait quand même englué dans ses gommes.

Tant qu'il serait isolé, il pourrait donner l'illusion de posséder une certaine souplesse; mais aussitôt accouplé à d'autres fils il reprendrait sa rigidité première et le résultat final serait nul. Les fibres ne seraient pas améliorées. Par contre les prix de revient seraient sérieusement aggravés.

Devant la carence du procédé de division par peignes ou brosses, on a pensé aux calandreuses. La séparation des fils s'obtient par pression mais au préjudice de la solidité. Le fil est d'ailleurs un peu plus souple parce que les gommes ont été malaxées, mais non détachées. Et si l'on tire

1. Pour la clarté de ce qui va suivre nous avertissons le lecteur que nous n'emploierons pas les termes fibres et fil dans leur sens habituel.

Par « fibre », nous entendrons désigner *la fibre commerciale telle que l'industrie l'utilise journellement à l'état dur et rigide, donc sans avoir été traitée chimiquement*. C'est un amalgame de fils.

Par « fil », nous comprendrons la *fibre commerciale réduite par des procédés chimiques à son unité de finesse en diamètre et sur toute sa longueur, par séparation des fils amalgamés*; ceci à l'exclusion de toute intervention mécanique.

Par « soies », nous désignerons *le fil déjà entré dans le cycle du traitement mécanique de la filature*.

Enfin par « copeaux », nous baptiserons *les petites fibres ou fibrilles collées pour diverses raisons sur les fils et qu'on peut détacher*.

sur ces fils ils cassent immédiatement, comme s'ils étaient brûlés. Ce fait a démontré que les gommes jouent dans la solidité du sisal, un rôle considéral, prépondérant même. Il faut les ménager, c'est-à-dire n'enlever que la partie d'agglutination qui lie les fils pour former la fibre commerciale. Ensuite modifier l'état colloïdal des gommes qui composent avec les fibres mères cellulosiques, le fil proprement dit et les fibrilles. Et enfin détacher sans rupture ces fibrilles.

Cela ne peut s'obtenir que par des procédés chimiques dont nous allons examiner la technique générale.

IV

Il a deux écoles de traitement chimique du sisal. Elles suivent des directives très différentes. La première cherche à fabriquer avec le sisal des ersatz de jute, de lin, de chanvre, etc.

Le placement d'un procédé sous une étiquette connue, est certes plus facile que celui d'une formule créant un produit nouveau. C'est sans doute pour plaire à l'esprit de routine intensive, jalouse de sa spécialité, qui sévit dans certains milieux industriels de filage et de tissage, que les inventeurs appâtent les fabricants avec l'idée d'une fibre complaisante, prête à tous les truquages en vue de bénéfices supplémentaires.

Cette conception, et ces réalisations (s'il y a vraiment réalisation) ne peuvent avoir de valeur pratique, donc produire un gain supplémentaire, qu'à la condition d'un décalage important des prix de revient entre la fibre de « mélange » et la fibre « noble ». — C'est infiniment aléatoire et fonction du marché.

Tant que le jute a valu bien plus cher que le sisal, l'opération pouvait être bonne. Maintenant, après l'effondrement des cours du jute et du chanvre, l'égalité par en bas étant accomplie, les procédés de fabrication d'ersatz de chanvre ou de jute par du sisal, voient leurs avantages disparaître. Il n'est pas intéressant de mêler à de bonnes fibres une matière étrangère de qualité forcément moindre, si le bénéfice à réaliser est nul ou à peu près nul. L'intérêt de ces procédés sera toujours soumis à toutes les fluctuations des cours. Et puis ce sont là des moyens peu recommandables.

Nous préférons donc l'école directe, *celle qui utilise le sisal comme sisal*, après avoir dégagé, sublimisé en quelque sorte toutes ses qualités intrinsèques, et qui cherche l'application pratique de ces qualités, ouvertement, sans honteuses dissimulations, simplement parce que l'emploi ainsi compris du sisal, seul ou avec d'autres fibres, constitue une amélioration, une plus-value provenant justement de la présence du sisal, qu'il est bon de faire connaître. Un bel exemple est dans le mélange officiel du sisal au chanvre dans certains câbles marins.

Il faut que l'on sache, en effet, que la gamme des traitements que peut subir le sisal pour augmenter certaines de ces qualités naturelles ou les atténuer quand elles deviennent un défaut ou encore d'en faire apparaître d'autres, embrasse un angle de possibilités fort intéressant. Elles ont l'avantage d'être d'un emploi stable parce qu'elles correspondent à un besoin réel et non plus à une spéculation.

Les variations que l'on peut obtenir avec la rigidité native ou augmentée ou un peu atténuée du sisal, en combinaison avec la finesse par isolement des fils, représente un intérêt réel dans un grand nombre de cas, notamment les tapis, carpettes, brosses, industrielles ou non, certains feutres, etc. Dans ces industries nous savons que le dosage de la rigidité, le degré d'élasticité ont une importance primordiale. Le procédé qui l'assurera est certain de vivre longuement.

Les variations dans l'atténuation de plus en plus accentuée de la rigidité, même au préjudice de la résistance comparative à la traction, correspondent dans d'autres cas à des besoins non moins réels. Elles assurent la supériorité du produit, par exemple, dans certaines étoffes, câbles, fils, ficelles qui doivent être souples à certains degrés et pas à d'autres et ne nécessitent qu'une force déterminée.

La finesse diamétrale et la résistance à la traction obéissent aussi à la même loi graduée dans la confection de courroies, de bâches, de tissus divers, etc.

Il y a là pour le chimiste un champ d'études, de dosages absolument passionnants.

Mais le résultat est sain, utile. Il se produit non pas au préjudice du sisal, mais bien à son avantage particulier. Il fait une fibre noble de cette fibre rude et grossière, cantonnée dans des utilisations importantes certes, mais vulgaires et — sauf en temps éphémère de prospérité factice — condamnées à des rétributions d'intérêt restreint. Et cette nouvelle noblesse avouée, connue, ouvre largement au sisal ce fameux champ élargi des possibilités commerciales, dont rêvent les producteurs.

Les chimistes (à notre sens) devront donc s'évertuer à exploiter après les avoir révélées, les vertus les plus modestes, les plus cachées du sisal.

C'est loin d'être aisé justement parce qu'elles sont modestes et cachées et qu'il est infiniment facile de dépasser le but visé.

A titre purement indicatif nous allons tracer en quelques grandes lignes les limites actuelles des recherches chimiques et donner les quelques indications que nous possédons.

V

L'acide gummique, les gummates ou gommates contenus dans certaines gommes à l'état de sels de chaux ou de potasse ne semblent pas avoir dans la gomme du sisal la même composition.

Cette gomme semble extrêmement complexe, à tel point qu'elle revêt parfois des formes inattendues en revêtant des caractères contradictoires.

On retrouve dans ces gommes, qui à un degré très élevé, sont liées à la transformation infiniment variable des celluloses des membranes cellulaires du fil, les caractères des gommes-résines partiellement solubles dans l'eau (propriété d'ailleurs utilisée dans le défibrage sous jets d'eau); de la gomme adragante (transformation pathologique) qui se gonfle dans l'eau en donnant un léger mucillage superficiel; de la gomme copal par soumission à l'action, très faible d'ailleurs, des thérébentines qui la solubilisent un peu; des laques par la rigidité, la résistance au frottement, le brillant bien connu des fibres de sisal, etc. Ces gommes semblent aussi contenir les éléments définis par Fremy et ses collaborateurs : pectines et composés pectiques, cutoses et vasculoses. Mais on s'est aperçu que dans certaines variétés de sisal, la fonction résine avait la place primordiale et qu'on se trouvait en présence nettement non seulement de résines ordinaires mais aussi de formation ancienne telles les succincts et l'acide succinique.

Le champ de la composition chimique de cet enduit semble donc aller des gommes aux bitumes en passant par les résines. C'est dire à quel point le dégommage est difficile.

Et, chose plus troublante encore, lorsque par une graduation de traitements, par une série d'éliminations on arrive à dégommer à peu près complètement le sisal, il tombe en poudre immédiatement ou perd complètement sa résistance à la traction.

Les fibres mères qui semblent ne pas avoir le même principe liant anastomosique des fibres de ramie, lin, chanvre, etc. se séparent. On a de la poudre de cellulose.

On s'aperçoit alors qu'il est dangereux de pousser le dégommage jusque dans l'âme des fils. La méthode rationnelle doit se contenter de dégommages partiels, en quelque sorte périphériques et excentriques. Et encore faut-il procéder par étapes, laisser parfois des traces de la substance préalablement attaquée dont la présence est nécessaire à la bonne tenue, au traitement rationnel de la suivante et à la solidité ou aux vertus de l'ensemble.

Il nous a été donné de suivre les travaux du dégommage à froid de la ramie, considéré comme une difficulté considérable. De l'aveu de l'ingénieur spécialiste de ce traitement, le sisal offre des difficultés techniques encore bien plus grandes.

Ajoutons aussi à ces entraves la nécessité inéluctable de procédés simples, ne nécessitant aucune installation coûteuse, ce qui implique l'obligation absolue de traitements *à froid* dans de simplus cuves adaptées, n'entraînant pas de manipulations coûteuses; ajoutons enfin le faible battement de prix toléré aux produits chimiques, c'est-à-dire la très petite somme à ne pas dépasser (à peine 0 fr. 40 à 0 fr. 50 au kilo, ce qui réduit singulièrement la nomenclature des produits utilisables). Au delà on voit fondre le bénéfice de la plus-value de vente obtenue par les transformations. Nous aurons alors esquissé les dimensions imposantes de la difficulté du traitement industriel du sisal, destiné à devenir un super-sisal, un sisal noble et non point autre chose.

Certes, en laboratoire, les moyens chimiques de réduire à la raison ces gommes, résines et bitumes alliés pour résister contre la volonté humaine, ne manquent pas.

Mais on s'aperçoit très vite que dans la pratique industrielle, pour le traitement par grandes masses tout ceci serait inopérant, inutilisable ou ruineux.

Dans l'ordre des recherches de moyens industrialisables on a d'abord pensé au rouissage, procédé simple, stable et bon marché.

La pulpe de sisal et une partie extérieure des gommes sont assez riches en pectines et composés pectiques. Les anaérobies du rouissage et tous les microorganismes qui président aux fermentations trouvent là un aliment et leur évolution peut se produire.

Le résultat est, par contre, très incomplet et décevant.

Les colloïdes, selon Graham; possèdent en eux-mêmes une activité compensatrice provenant de leurs propriétés physiques et qui lutte contre leur inertie chimique. La souplesse des milieux colloïdaux les rend capables de devenir un milieu de diffusion des liquides. Cette pénétrabilité indique leur sensibilité parfois très grande aux agents extérieurs.

Or on a remarqué qu'une balle de sisal, pressée au Soudan par exemple, pays particulièrement torride et de faible hygrométrie, pesait à l'arrivée en Europe, après saturation humide par l'air ma-

rin et les brumes nordiques, un poids bien plus élevé.

Donc la simple vapeur d'eau atmosphérique vient corroborer la définition de Graham.

Et cela indique que du sisal, même polymérisé, une fois plongé dans l'eau, cède très vite à l'hydratation. Le rouissage devient donc possible.

Mais cette facilité amène très rapidement une putréfaction de la cellulose. Et le rouissage n'est pas praticable. Cette putréfaction est tellement rapide qu'il suffit de mettre, même en plein soleil, une épaisseur un peu trop forte de fibres sur un séchoir pour qu'aussitôt les fibres intérieures se tachent irrémédiablement. La fermentation butyrique violente du rouissage semble bien confirmer ce que nous disions plus haut, sur l'amalgame intime, et non plus la superposition, des fibres mères cellulosiques avec les gommes une fois franchi le vernis provenant des traces de pulpe.

On a donc renoncé complètement au rouissage ordinaire par action bactérienne.

Il reste les fermentations catalytiques par ferments sélectionnés soit après un amorçage chimique du milieu pour le rendre favorable, soit par ensemencement microorganique.

Nous avons vu que la pulpe du sisal contient des éléments fermentescibles utilisés dans la fabrication de l'alcool. Il était donc intéressant de savoir comment une fibre soumise à l'action de levures allait se transformer et où finissait le mélange.

Les ferments qui semblent agir, seraient de la famille des catalases si l'on en juge par les produits de désagrégation qu'on obtient sans fixation d'eau. Cent grammes de fibres fraîches placées durant dix jours dans trois litres d'une solution favorable ont donné deux cents centimètres cubes de matières précipitées.

Il semblerait aussi que les ferments envisagés sont oxydases car leur action réversible réductrice est évidente.

L'étude de ce phénomène n'a pas été poussée parce que le résultat pratique, n'est, hélas! pas complet. L'expérience était surtout d'ordre du laboratoire et venait corroborer l'opinion de Graham, qui affirme que les colloïdes fluides, paraissent avoir toujours une modification *pecteuse*. Ce caractère de mutabilité est une continuelle métastase (c'est-à-dire la disparition d'un phénomène (coïncidant avec l'apparition en un autre point d'un autre phénomène) (et qui se trouve sous la dépendance d'une même action). On peut comparer ces colloïdes à l'eau qui peut rester liquide au-dessus de son point de solidification ou à une solution saline sursaturée. Immédiatement après l'action des ferments se forme une métamorphose des gommes qui interdit toutes les actions modificatrices ayant un pouvoir — relatif, mais évident — sur ces gommes à l'état naturel. L'assouplissement devient très difficile.

L'observation à tirer de ces recherches c'est que si la fermentation butyrique désorganise rapidement les fibres et les fils, les corrompt immédiatement, la fermentation alcoolique agit superficiellement sur les pectines ou composés pectiques extérieurs et par une sorte d'entropie chimique, rend à la suite de l'action réversible des oxydases, le dégommage normal bien plus difficile.

Mais de ceci on a pu tirer la nécessité de procéder par étapes exactement comme si les gommes étaient disposées par couches superposées de nature moléculaire différente à traiter différemment. Par comparaison, la fibre et le fil ressembleraient, en coupe, avec leurs gommes, à une agate végétale dont il faut respecter et assouplir le noyau.

Et ce n'est pas une opération facile parce que la pectisation des gommes, c'est-à-dire leur durcissement en perdant la propriété — très restreinte chez le sisal — de donner des suspensions, est telle qu'il était impossible par la suite, après séchage au soleil par exemple, de replacer ces gommes périphériques dans leurs conditions d'origine[1]. Les réactifs n'arrivaient qu'à produire un fil qui selon le mot d'un industriel notoire appelé à juger la valeur commerciale du résultat «... était très bien! mais, pourquoi lui avait-on fait perdre les principales qualités du sisal? »

Et c'est ce point qui trouble le plus les chimistes enclins à confondre pectisation avec coagulation.

Le sisal une fois pectisé et replacé dans de l'eau ne reprend plus l'aspect sirupeux — très légèrement sirupeux — de la fibre humide au sortir de la machine à défibrer. Il n'y a pas de réversibilité possible sans un moyen qui nous échappe pour le moment, du moins parmi ceux que l'on peut utiliser dans le cadre des prix de revient et des manipulations d'ordre industriel. S'il y a un procédé de peptonisation pratique nous ne le connaissons pas et à notre grand regret nous ne pouvons l'indiquer. Cela nous paraît d'autant plus difficile qu'il faut éviter de traiter les fibres à chaud, autant à cause des frais trop élevés qui en résultent que parce qu'on modifie alors la structure moléculaire des fils.

1. Nous croyons savoir cependant qu'un ingénieur a trouvé le moyen industriel de modifier la pectisation dans des conditions de simplicité et de prix très remarquables. Puis partant de ce point, de traiter avec une grande rapidité les fibres sans attaquer l'amalgame qui constitue le fil. Celui-ci garderait ses qualités de résistance, de blancheur et de brillant, avec la finesse et la souplesse en plus. Les échantillons produits sont d'ailleurs très édifiants.

Cela, tous les industriels qui utilisent le sisal, tiennent à l'éviter.

Si après la pectisation des gommes on trouvait le moyen de rendre réversible ce milieu colloïdal il serait possible d'obtenir soit sa transformation en mucillage sirupeux soluble dans l'eau par lessivage, soit même la dispersion spontanée de ses molécules. Les terribles gommes du sisal deviendraient aussi faciles à traiter que l'albumine ou la gomme arabique, à la température ordinaire. Ou bien il suffirait de trouver, comme pour le caoutchouc, l'acétate ou le nitrate de cellulose, le liquide qui faciliterait leur suspension et leur dispersion colloïdale, sous la température la plus favorable à la formation de granules fines.

C'est donc vers la peptonisation industrielle et à froid (température atmosphérique de 15 à 35° C. selon les climats) que doivent tendre les recherches à ce sujet.

VI

Ce qui précède considère les gommes du sisal. Nous renvoyons les techniciens aux travaux théoriques de Smoluchwosky, de Einstein, Svedberg, Langevin, Perrin, Stokes, Chaudesaigues, V. Henri, Seddig, Hatschek, car il est très intéressant de concevoir les mouvements, le mécanisme moléculaire des gommes colloïdales. C'est par cette conception qu'ils arriveront à trouver le procédé de disjonction de ces molécules, bien mieux que par des réactions plus ou moins empiriques ou des équations plus ou moins arbitraires. Ce que l'on conçoit bien...

Et nous allons parler maintenant de l'autre forme de la masse colloïdale qui enrobe les fils de sisal; les résines.

Quand on observe le défibrage des feuilles on remarque l'énorme quantité de mousse qui se forme dans le canal d'évacuation des déchets. Les résines du sisal ont des fonctions acides, ou du moins certains corps à fonction acide, qui les rendent solubles dans l'eau à la faveur de bases alcalines; la potasse des pulpes sans doute.

En effet, la soude — qui a toutefois l'inconvénient de détruire la résistance des fils — attaque assez largement la masse colloïdale de l'enduit. Elle produit une gelée jaune chrome, soluble dans l'eau, en ce sens qu'on peut l'y disperser par frottement.

Comme cette action est assez profonde on a pu se rendre compte que la proportion des résines était importante.

On obtiendra une analyse bien plus complète de celles-ci en employant la méthode de Schmidt et Erbau ou le procédé de Hirschomm pour les gommes-résines, ce qui se rapproche davantage de la réalité. Peut-être y puisera-t-on des indications définitives.

Il a été essayé d'agir sur la masse résineuse en présence de certains hydrocarbures et huiles combinées de diverses manières ou isolément. Le résultat est sensiblement égal, en tant que profondeur et efficacité de l'action, à celui qu'on réalise par l'emploi d'alcalins. C'est très insuffisant quoique non négligeable. Mais on ne peut pas considérer le traitement des résines comme étant une solution complète de la division et de l'assouplissement du sisal.

On a tenté aussi d'agir sur les résines après avoir traité les fibres par des moyens bactériologiques (rouissage superficiel ou fermentation). Le résultat final est sensiblement identique.

Il semblerait que dans le traitement direct de la masse résineuse, la masse gommeuse se désagrège.

Ce procédé en deux temps aurait d'ailleurs le défaut de doubler les frais et les manipulations sans grand progrès dans l'augmentation de la finesse et de la souplesse des fils.

Toutefois la méthode par les hydrocarbures a sur la méthode par les alcalins, le résultat de ne pas corroder la fibre et de donner un produit assez blanc et assez brillant. Mercerisé il devient très brillant et blanc mais durcit alors considérablement. Il y a là un phénomène de réversibilité absolument désagréable qui empêchera longtemps de suivre le cycle alcalino-acide, dont théoriquement on pourrait espérer un résultat intéressant.

En définitive le traitement des résines donne un résultat plus accentué que celui des gommes seules.

On peut donc dans une certaine mesure avec cette méthode améliorer notablement la finesse et la souplesse de la fibre et, sous l'action mécanique des brosses, lisseuses ou peigneuses qui sert de préparation à la filature, on obtiendra un sisal assez sérieusement supérieur à la fibre commerciale courante[1].

C'est pour le moment le résultat industriel pratique le plus marqué que nous connaissions. Il y aura sans doute lieu de ne pas le perdre de vue, bien qu'à notre sens, ce ne soit pas là que se trouve la solution complète de la division des fibres en fils souples et résistants.

1. Des essais de filature de fibres traitées en partant des résines, sont en cours dans une usine spécialisée. Nous en donnerons les résultats industriels dès qu'ils seront en notre possession.

VII

Nous venons d'attirer l'attention sur l'amalgame complexe de gommes et de résines qui entoure et pénètre les fils de sisal. *Les gommes* ont pour caractères généraux d'être concrètes, incristallisables, inodores, d'une saveur fade et visqueuse, solubles et transformables en mucilages (gommes à base d'arabine) ou susceptibles de suspensions dans l'eau (gommes à base d'adragantine, de bassorine, de césarine), et de former avec l'eau une gelée plus ou moins épaisse. Elles sont insolubles dans l'éther, les corps gras. La plupart sont des anhydrides, c'est-à-dire en chimie minérale des oxydes métalloïdiques ou de certains métaux plus oxygénés que les oxydes basiques de ces mêmes métaux. En chimie organique les monoacides peuvent donner des anhydrides de la forme R. CO. O. CO. R où R représente un radical carboné.

Les gommes (anhydrides) peuvent donner par hydrolyse avec les acides minéraux dilués des sucres réducteurs (arabinose — *pentose* et galactose — *hexose*). Traitées par l'acide azotique elles donnent de l'acide mucique.

Les résines sont des produits amorphes, rarement cristallisés, solides, fusibles par la chaleur (mais nous avons vu qu'il faut procéder par bains froids). Elles ne deviennent jamais parfaitement fluides, ce qui les différencie des corps gras. Elles sont insolubles dans l'eau, inflammables, mais solubles dans l'alcool, le chloroforme, l'éther, les corps gras *et les bitumes* (point à retenir).

Elles sont généralement jaunes, cassantes, plus pesantes que l'eau. (Or le sisal brut du Sénégal-Soudan est justement jaune, cassant et s'enfonce très vite dans l'eau même à l'état sec, brossé et poli).

Les résines paraissent être le résultat des huiles volatiles auxquelles elles semblent devoir leur odeur particulière. (Le sisal a une odeur propre). Leur couleur vient aussi de matières étrangères, car on admet qu'une résine pure est inodore et blanche.

Les solutés résineux alcooliques sont des sous-résines (selon Bonastre).

Certaines résines possèdent des propriétés acides faibles parfois suffisantes pour leur permettre de décomposer les carbonates alcalins et former ce qu'on nomme (improprement) des résinates ou savons de résines. (La mousse des pulpes en cours de défibrage serait sans doute due à cette réaction sur les carbonates alcalins de la plante). Ces résinates moussent dans l'eau mais on les distingue des savons par le fait que le sel marin ne les précipite pas.

On trouve aussi des résines fossiles dans le règne minéral. (Nous reviendrons tout à l'heure sur ce sujet.)

Les gommes-résines sont des mélanges en proportions variables de substances gommeuses et résineuses avec certains produits organiques. Elles sont habituellement produites par des végétaux qui croissent dans les contrées les plus chaudes du globe. (C'est justement le cas du sisal.) Elles s'y trouvent en suspension dans un véhicule aqueux et sous forme d'émulsion alors que les résines proprement dites s'y trouvent en dissolution transparente dans une huile volatile. On les obtient par dessiccation au soleil. (Or c'est absolument ce qui se produit dans le traitement actuel du sisal que l'on fait sécher au soleil.) Elles sont insolubles dans l'eau ou l'alcool pur, mais solubles à chaud dans l'alcool aqueux. En général la proportion de la résine est beaucoup plus forte que celle de la gomme. (Nous l'avons fait remarquer dans les chapitres précédents.) Ces gommes sont tantôt de la nature de l'arabine, tantôt de celle de la bassorine, etc. (Nous avons aussi signalé ces contradictions.) Quelques gommes résines contiennent une assez forte proportion d'huiles essentielles. Elles sont toutes odorantes.

Voici donc les points essentiels de comparaison qui vont permettre de comprendre à quelles difficultés se heurent les chimistes contre cette gomme-résine du sisal, qu'il faut éliminer en partie, dans certaines conditions et sous certains de ses aspects en ménageant les autres. Sans cela le fil perd ses qualités intrinsèques... et les prix de revient sont prohibitifs.

VIII

Au cours des recherches qui furent faites par certains ingénieurs, nous avons eu connaissance d'un fait curieux : la présence à l'état évolutif de résines fossiles parmi les gommes-résines du sisal.

Ce fait apparaît bien en relief dans l'analyse de Bousingault, relative au pulqué, ou vin de pulpe, cher aux Mexicains, au point qu'un buveur de pulqué ne peut plus se passer de cette boisson.

Dans ce vin, Bousingault a remarqué la présence de 1,40 % d'acide succinique ($C^4H^6O^4$) formé sans doute par fermentation de l'acide malique en présence de la chaux et des succins pendant la préparation du pulqué.

Les résines succiniques ont la propriété de dissoudre et de se combiner avec d'autres résines du fait de leur composition bitumeuse.

Or il se pourrait fort bien que toutes les difficultés que l'on rencontre dans le traitement du sisal proviennent des combinaisons de ces bitumes préfossiles (le copal se rapproche aussi beaucoup de cette forme de résine bitumeuse) avec les gommes-résines habituelles.

Or ces bitumes résineux sont d'une insensibilité à peu près complète dans l'alcool, l'éther, les huiles fixes et volatiles, les acides acétiques, azotiques, les alcalins étendus, le sulfure de carbone, la benzine.

Pour arriver à les dissoudre dans ces divers liquides il faut chauffer à 350 à 450° C. Mais à ces températures la cellulose est détruite. Et nous savons que le traitement industriel normal doit s'opérer à froid (15 à 35° C.).

Les bitumes de ce genre sont toujours d'un jaune foncé et parfois rougeâtre (l'ambre jaune est un succin). La couleur jaune accentuée et l'odeur du sisal proviennent-elles de cette présence? Probablement.

Pour le succin, Berzélius considère qu'on est en présence d'une combinaison d'huiles volatiles semblables à celle des thérébentines, d'acide succinique, de résines ou principes résineux sensiblement proches de ceux des conifères (pins) *et d'une matière bitumeuse qui en forme la majeure partie.*

Tout ceci se rapproche assez bien des remarques que nous avons signalées.

Notons aussi que traité par l'acide azotique ou chauffé dans une cornue avec un soluté concentré de potasse caustique, le succin donne du camphre.

Enfin, en botanique on rapproche le succin des résines bitumeuses données par quelques Hymenaea, le dammara et la résine Cowdie.

IX

Voici pour le moment les notes essentielles que nous pouvons donner sur cette fameuse question du sisal souple en ce qui concerne son traitement chimique.

Pour terminer ces indications, nous signalerons les critiques des filateurs, qui se plaignent de l'irrégularité des fibres de sisal, notamment de ceux qui sont originaires d'Afrique et particulièrement, du Soudan.

Cela tient à ce que les méthodes culturales instaurées en Afrique sont, à notre connaissance, un peu rudimentaires. On ne s'est pas rendu compte que déjà dans la plante, les feuilles, par leur posture en porte à faux, font travailler anormalement leurs fibres.

Les plantations africaines ne sont pas irriguées. On n'emploie jamais d'engrais. Elles ne sont jamais à l'abri du vent. Or, la cassure d'une feuille amène sur les fibres des dépôts colloïdaux de résines bitumeuses succiniques qui les marquent en brun ou jaune foncé. Aucun traitement n'arrive à détruire ces taches qui déprécient la marchandise.

Mais cette mode culturale barbare et primaire, a un autre inconvénient. Elle oblige la plante à multiplier dans les feuilles les plus éprouvées, la formation de fibrilles de renfort, les fameux « copeaux » qui furent constatés maintes fois.

Dans certaines fibres commerciales, un traitement chimique un peu poussé, a permis de compter sur des fils bosselés par ces apports de fibrilles, jusqu'à onze copeaux de différentes tailles. On a même remarqué que certains copeaux en contact avec le fil étaient eux-mêmes renforcés par un autre copeau à l'extérieur.

Si l'on veut obtenir des fils réguliers il faudra renoncer à des pratiques culturales aussi rudimentaires. La réputation de nos produits coloniaux est en jeu. Il n'y a qu'à s'inspirer à ce sujet des méthodes agricoles hollandaises en honneur dans les Indes néerlandaises.

Toutefois la régularité des fils ne pourra jamais être que diamétrale et bien difficilement longitudinale. Il est remarqué en effet que la forme d'un fil de sisal est sensiblement conique. Le talon est toujours plus gros que la pointe.

Cela gêne les filateurs. Mais le moyen simple d'y remédier à peu près complètement serait de tisser à part les pointes après les avoir sectionnées des talons. Les pointes serviraient à des toiles fines, les talons aux toiles de sacherie?

Quant aux procédés chimiques ils ne peuvent pas plus que les peignages mécaniques les plus parfaits, donner autre chose que ce qui existe, c'est-à-dire séparer les fils sans jamais pouvoir en modifier la forme. Bien heureux quand on attaque par les qualités intrinsèques remarquables de ces fils.

En résumé le problème est complexe, difficile, car il faut arriver à produire à bon compte, avec des moyens simples, un nouveau fil de sisal, qui soit par rapport à l'ancienne fibre commerciale, ce qu'un pur sang est à un cheval de tombereau. Et ce fil doit rester un fil de sisal, avec les qualités sublimisées du sisal, et non point un ersatz de ceci ou de cela, apte à tout et bon à rien.

Er. Reip-Sined.

N. B. — Nous donnerons d'ici peu des renseignements techniques précis sur une méthode de traitement à froid du sisal, qu'on vient de nous communiquer.

BIBLIOGRAPHIE

ANALYSES ET INDEX

1° Sciences naturelles.

Roule (L.) — **Les Poissons et le Monde vivant des Eaux.** — Tome V : **Larves et Métamorphoses.** *1 vol. de 304 pages, 16 planches en trichromie et 74 dessins. Delagrave, Paris, 1932.*

Dans ce volume, le professeur Roule a donné les résultats de ses fouilles, pourrait-on dire, dans le monde prodigieux qui est celui des eaux, en se consacrant plus particulièrement à l'étude des transformations successives, depuis l'œuf, chez un certain nombre de poissons.

Il s'est attaché spécialement à montrer comment, dans de multiples espèces, l'être résultant de l'œuf passe, avant d'arriver à son état définitif, par un ou même par plusieurs stades parfaitement déterminés où sa forme est totalement différente de celle qui le caractérisera un jour.

Nous sommes habitués, quand on emploie le mot « larve » à nous imaginer un être sinon très petit, tout au moins de taille relativement minime, tandis que le professeur Roule nous met sous les yeux un poisson qui, à 50 centimètres de longueur, se trouve encore à l'état larvaire, ce terme caractérisant en effet les êtres non encore arrivés à leur stade définitif.

L'étude commence par celle de l'œuf, de sa fécondation, continue par celle des alevins, répartis en deux classes, suivant qu'ils portent une vésicule importante leur permettant de n'avoir pas besoin de chercher immédiatement dans le monde extérieur leur alimentation, mais en contre-partie, les forçant à vivre par suite du poids de cette vésicule sur le fond de la nappe d'eau; parfois ils sont pourvus au contraire d'une vésicule minime se résorbant rapidement et les contraignant à s'adapter à leur nouveau milieu, dès leur sortie de l'œuf, sous une forme leur permettant d'utiliser au plus tôt les aliments de dimensions infimes contenus dans ce milieu, donc état larvaire plus accentué, dans ce dernier cas.

Nous voyons dans ce livre, tout d'abord le développement de ce roi, ou plus exactement de cette reine des poissons : la truite, passant du stade œuf au stade alevin vésiculé, le petit animal vivant de ce fait au fond de la rivière, où le poids de sa vésicule le retient, puis passant ensuite au stade définitif, sous la forme de truitelles, qui, en se développant, en grandissant, mais en conservant alors les mêmes formes, deviendront les truites : jouissance des gourmets.

Puis voici les Corrégones, larves d'un autre poisson exclusivement de lacs, celui-là, la Gravenche, qui, dans cet état larvaire où il paraît plutôt vermiforme à grosse tête, est tout à fait différent de ce qu'il sera à son stade final.

Ce sont ensuite les carpes, sous formes de naissins avec des vésicules beaucoup moins importantes que chez la truite, plus loin les phases successives du développement de la sardine appelée poutine sous sa première forme.

Et nous voyons toute la série des larves dites à épines à cause de leurs agréments — si l'on peut dire! — spécialement celles des rascasses et des crabes, ensuite celles à tentacules et à épines plus longues des gades et des baudroies, celles des habitants des abîmes marins, etc.

Nous sortons brusquement de ces profondeurs avec l'étude du poisson volant, puis de ce bizarre phénomène qui, par suite de sa forme est appelé hache d'argent et nous assistons à l'étude de cette autre reine, mais des poissons de mer, celle-là, la sole, si curieuse par ce phénomène des yeux rapprochés et portés sur le même côté.

Nous voici enfin en compagnie du loup ou louvard impérial, ce poisson dont un des stades larvaires (il en a trois) nous le montre long de plus de 50 centimètres.

Le livre se termine après une étude sur quelques larves flottantes, par des sondages du professeur Roule dans ce domaine aussi infini que celui des œufs, sinon davantage : celui du mystère de l'embryon.

Livre intéressant, non seulement parce qu'il dit de précis quant aux transformations de la matière vivante sous différentes formes si éloignées les unes des autres, mais aussi, par la poésie dont il est imprégné

Les pages sur les truitelles prenant leurs ébats dans l'eau chantante du soir sont, en même temps qu'une documentation, un délassement pour l'esprit.

F. DE LA TOUCHE,
Ingénieur agronome.

2° Sciences médicales.

Sexologie. — J'ai reçu, au cours de l'année, cinq livres traitant de questions sexologiques :

Maranon (Georgio). — **L'Evolution de la Sexualité et les Etats intersexuels.** *Editeur Gallimard.*

Wieth-Knudsen (K. A.). — **Le Conflit des sexes dans l'Evolution sociale et la Question sexuelle.** — *Editeur Marcel Rivière.*

Allendy (R. et Y.). — **Capitalisme et sexualité.** — *Editeurs Denoël et Steele.*

Jung (C. G.). — **Métamorphose et Symboles de la Libido.** — *Editeur Fernand Aubier.*

Soulie de Morant (Georges). — **Anthologie de l'Amour chinois.** — *Mercure de France.*

Maranon et Knudsen soutiennent l'infériorité du sexe féminin.

R. et Y. Allendy soutiennent l'égalité des deux sexes. Aux élucubrations freundiennes ils ajoutent des élucubrations politico-sociales.

C. G. Yung, servi par une érudition étonnante, nous conduit dans le dédale du symbolisme sexuel de l'antiquité à l'ère moderne.

Soulié de Morant donne une meilleure leçon que tous les auteurs précédents en groupant les poésies chinoises suivant le cycle de l'amour :

Premières amours,
Rencontres,
Le désir,
Les poursuites,
Les joies de l'amour,
Puis séparation, abandon et deuil.

« Cette innocente liberté des sentiments, commente Soulié de Morant, qui nous étonne, s'explique en Chine.

Là-bas, tout d'abord, on n'eut jamais l'idée que nous sommes seuls d'essence divine dans un monde par conséquent démoniaque.

Les êtres humains sont considérés comme formés des mêmes éléments et soumis aux mêmes lois que les animaux et les plantes.

Des sentiments sincères que nous partageons avec l'univers sont respectables s'ils ne sont pas antisociaux. Et justement, la société leur a donné droit de cité en instituant que les hommes, s'ils étaient sérieux, pouvaient se contenter pour la vie d'une première épouse, toujours choisie pour ses qualités de sérieux. Mais s'ils étaient tourmentés par des idées de plaisir, ils pouvaient prendre et quitter à leur gré des secondes épouses choisies, elles, pour leur manque de sérieux. L'existence et les conséquences de ces unions passagères étant publiquement reconnues, l'amour et le plaisir n'ont jamais été de graves aventures ou de coupables entreprises. On peut en parler librement sans chausser le cothurne ou sans baisser la voix. »

Je ne puis qu'approuver ces justes remarques de Soulié de Morant. Que le roman soit devenu chez nous la principale production littéraire, que le cinéma ait mis l'accent sur une forme dégradée de la pensée : voilà de mauvais indices pour la formation de la jeunesse. Nous nous éloignons non seulement de la vie naturelle, mais aussi de la pensée rationnelle. L'éducation des foules par le livre et le film conduit à un onirisme habituel même à l'état de veille. D'où sans doute le succès de tant de livres roulant sur les rêves...

P. S. — Au moment où je corrige ces épreuves je reçois de Payot, éditeur, le livre de B. Malinowski « La Sexualité et sa Répression dans les sociétés primitives ». Ce livre paraît trop important et mérite mieux qu'une mention.

René Porak.

3° Art de l'Ingénieur.

Maison, *Ingénieur général des Mines.* — **Exploitation technique des chemins de fer.** — 1 *vol. de* 372 *p. avec figures. Béranger, Paris,* 1932.

Cet ouvrage reproduit le cours professé par l'auteur à l'Ecole nationale supérieure des Mines.

Dans les chemins de fer, les diverses questions concernant la construction, le fonctionnement, l'exploitation, se rattachent à trois grandes divisions que l'on rencontre dans la plupart des grandes administrations c'est-à-dire : la voie, la traction, et l'exploitation.

Dans ses leçons, l'auteur a étudié plus particulièrement une partie du service de l'exploitation que l'on appelle l'exploitation technique des chemins de fer, et qui comprend l'étude de l'ensemble des dispositions adoptées pour organiser les trains, et en assurer la sécurité.

Cette branche de l'exploitation correspond dans nos réseaux au service du mouvement et au service technique chargé de l'établissement des postes d'enclenchements.

Le cours débute par l'étude de la réglementation technique des chemins de fer qui conditionne d'ailleurs l'exploitation de nos réseaux. M. Maison étudie ensuite les règlements relatifs à la circulation des trains, les signaux, la réglementation du freinage des trains; le block-system; les méthodes d'exploitation des lignes à double voie et à voie unique, les enclenchements; l'organisation du service des trains, et enfin la réglementation du travail des agents de chemins de fer.

Le chapitre VI qui concerne l'étude des enclenchements est la partie capitale de cet ouvrage. L'étude du projet déclenchements est une opération très délicate qui demande beaucoup d'expérience et de perspicacité. Malgré les développements inaccoutumés donnés dans ce cours aux enclenchements il est bien certain cependant que les jeunes ingénieurs, avec la seule ressource de ce volume, ne seront sans doute pas en mesure de dresser un projet; aussi bien n'est-ce pas l'objet d'un cours que d'entrer dans les détails de technique. Mais il est non moins certain que l'étudiant qui aura parcouru attentivement cet ouvrage ne sera pas dépaysé quand il entrera dans un bureau d'étude d'enclenchements.

Les notions générales qu'il aura acquises lui serviront de guide très sûr.

M. Maison a fait en effet exposé très méthodique et clair de toutes les questions qui touchent à la sécurité des chemins de fer. L'auteur a pu entrer dans le détail de quelques types de système d'enclenchements d'une façon sommaire, c'est certain, mais très suffisante néanmoins en tenant les lecteurs au courant des derniers perfectionnements.

Le jeune ingénieur qui cherchera à s'initier aux questions de sécurité de l'exploitation des chemins de fer ne trouvera nul ouvrage qui puisse lui rende des services comparables à ceux qu'il peut attendre des traités de M. Maison dont les leçons sont si appréciées des élèves.

L. P.

ACADÉMIES ET SOCIÉTÉS SAVANTES
DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

ACADÉMIE DES SCIENCES DE PARIS

Séance du 8 Août 1932.

Gabriel Bertrand et **Georges Brooks** : Sur la formule de constitution du laccol. — **J. Schokalsky** : La fluctuation du climat arctique. — **N. Cioranesco** : Quelques propriétés des fonctions polyharmoniques en corrélation avec certaines propriétés des polynomes. — **L. Tchakaloff** : Sur une propriété des polynomes trigonométriques. — **F. Marty** : Sur le groupe d'automorphie de certaines fonctions entières. — **A. Silveira** et **E. Bauer** : Sur l'effet Raman dans les solutions salines. — **Duffieux** et **Léon Grillet** : Dispositif sensitométrique à lentille cylindrique et diaphragme profilé. — **Léon Gion** : Sur l'oxydation photochimique des solutions aqueuses d'ammoniaque. — **Astruc** et **Mousseron** : Sur le sulfate double d'aluminium et de sodium. — **V. Frolow** : Régime des sels dissous dans les eaux de rivières de la région de Damas.

Séance du 17 Août 1932.

Charles Achard et **Ho-Dac-An** : Quelques observations sur la floculation des suspensions de myxoprotéine par les électrolytes. — **E. Bataillon** et **P. Tcherniakofsky** : Stérilité des hybrides mâles issus du croisement entre Molge marmorata et Molge cristata. — **R. Rissier** : De la dispersion afférente à *n* erreurs dans le cas où chacune des erreurs composantes est régie par une loi simple. Essai d'une représentation analytique. — **Jacques Devisme** : Sur certaines familles de polynomes. — **D. Iwanenko** : Sur la constitution des noyaux atomiques. — **A. Portevin** et **P. Bastien** : Contribution à l'étude du système ternaire magnésium-aluminium-cuivre. — **Li Shi Lin** : Etude sur quelques schistes à ottrélite de Chine. — **Henry Germain** : Sur quelques Diatomées d'eau douce vivant en tubes muqueux. — **F. Dussaud** : Sur la photographie et la cinématographie sans manipulation et avec vision immédiate des sujets fixes et animés.

Séance du 22 Août 1932.

E. Bataillon et **Tchou su** : Croisements en retour (2e génération) entre une femelle hybride d'Urodèle et les mâles des deux types parentaux. — **Paul Mentre** et **O. Rozet** : Sur certaines surfaces tétraédrales. — **Georges Giraud** : Sur une extension de la théorie des équations intégrales de Fredholm, avec application. — **Gr. C. Moisil** : Sur l'intégration des matrices. — **A. Aleyrac** : A propos de la sustentation d'un corps par battements. — **J. Solomon** : La théorie d'Einstein et Mayer et les équations de Dirac. — **G. Bruhat** et **P. Chatelain** : Mesure photo-électrique de la dispersion rotatoire de quelques sucres dans le début de l'ultra-violet. — **Michel Polonosvki** et **Albert Lespagnol** : Sur la constitution de l'allolactose. — **D. Ivanoff** et **T. Roustcheff** : Alcoolyse des éthers-sels par les alcoolates et les phénolates organomagnésiens mixtes. — **F. Blanchet** et **L. Bethoux** : Influence de la nature géologique du sol et de la minéralisation des eaux d'alimentation sur la fréquence du cancer chez l'homme. — **Marcel Baudoin** : Epoque d'apparition de la culture du blé en France démontrée par les Faucilles Paléolithiques.

Séance du 29 Août 1932.

C. Camichel, **F. Beau** et **L. Escande** : La similitude des ouvrages courts ; expériences sur la grande-forme de radoub du port du Havre. — **G. Tzitzeica** : Sur la représentation conforme. — **Torsten Carleman** : Sur les caractéristiques du tore. — **Georges Bouligand** : Sur diverses notions infinitésimales. — **Alexandre Ghika** : Sur le développement en série des fonctions monogènes uniformes. — **Giulio Krall** : Etat limite, résultant des marées, pour le mouvement d'un système planétaire. — **P. Vaillant** : Sur un artifice susceptible d'augmenter la précision des mesures spectrophotométriques visuelles. — **J. Prat** : Sur des combinaisons d'acides arsiniques et d'acide chlorhydrique. — **Vale Voux** : Sur la biologie de *Codium Bursa*. — **A. N. J. Heyn** : Sur la méthode de détermination de plasticité des membranes cellulaires. — **G. Viaud** : Sur le phototropisme des daphnies ; rôle de la mémoire dans le phototropisme. — **G. Champetier** : Sur une méthode de détermination de la composition des composés d'addition de la cellulose. — **Jean Roche** : Sur les hémoglobines musculaires.

Séance du 5 Septembre 1932.

Gr. C. Moisil : Sur les sauts de probabilité dans les évolutions stochastiques. — **Jean Mirguet** : Sur le paratingent d'un ensemble ponctuel. — **Benjamin Meisel** : Sur une propriété de la tension dans un problème plan de la théorie de l'élasticité. — **P. F. Papcovitch** : Solution générale des équations différentielles fondamentales d'élasticité, exprimée par trois fonctions harmoniques. — **Léon Auger** : Sur les mouvements des anches battantes pour tuyaux d'orgue. — **René Hardy** et **Bertrand-Lepaute** : Radio-compas stroboscopiques à lecture directe. — **A. Da Silveira** : Sur l'effet Raman dans les solutions salines. — **C. Gaudefroy** : Correction et addition à la description de l'équiline et de la folliculine.

SOCIÉTÉ ROYALE DE LONDRES

Séance du 21 Janvier 1932.

MM. **C. Donhoffer** et **J. J. R. Macleod** : *Etudes sur le contrôle nerveux du métabolisme des hydrates de carbone.* — MM. **W. T. Astbury**, **T. C. Marwick** et **J. D. Bernal** : *Analyse de la structure de la paroi cellulaire de* Valonia ventricosa *à l'aide des rayons X.* Cette membrane est formée de deux assises de cristallites cellulosiques dont les auteurs étudient l'aspect, l'orienta-

tion, etc. — MM. **F. A. Askew, R. B. Bourdillon, H. M. Bruce, R. K. Callow, J. St. L. Philpot** et **T. A. Webster** : *Vitamine D cristallisée.* Ces auteurs ont continué la purification du principe antirachitique (calciférol) qu'ils ont obtenu précédemment ; la substance purifiée a un pouvoir antirachitique deux fois plus grand que celui du calciférol ; elle paraît être identique à la vitamine D_2 de Linsert et Windaus. La vitamine D_1 de Windaus est un composé de calciférol (vitamine D_2) et de stérol X.

Séance du 25 Février 1932.

MM. **D. M. Needham, J. Needham, E. Balwin** et **J. Yudkin** : *Etude comparative des phosphagènes, avec quelques remarques sur l'origine des Vertébrés.* Le phosphate d'arginine a été rencontré dans tous les groupes d'Invertébrés étudiés par ces auteurs (parmi les Cœlentérés, il n'a été trouvé que chez un Cténophore). Le phosphate de créatine s'observe chez les Vertébrés, chez les Echinodermes (muscles de l'appareil masticateur) et dans les tissus des Entéropneustes ; ce fait parle en faveur d'une filiation entre les Echinodermes et Entéropneustes d'une part, et les Vertébrés d'autre part. — M. **G. Phillips** : *Réflexes myotactiques dans le muscle sympathectomisé.* — MM. **J. C. Eccles** et **H. E. Hoff** : *La décharge rythmique des neurones moteurs.*

Séance du 4 Février 1932.

MM. **J. R. Baker** et **R. M. Ranson** : *Facteurs agissant sur la gestation du Campagnol* Microtus hirtus. 1) *Lumière.* Si l'on réduit de 15 à 9 heures la durée quotidienne d'exposition de ce Rongeur à la lumière, on entrave fortement la reproduction ; les femelles sont particulièrement affectées. — M. **T. H. Bissonnette** : *Modification des cycles sexuels des Mammifères. Réactions des Furets des deux sexes à la lumière électrique au cours de la nuit.* Des mâles et femelles de Furet sont éclairés par des lampes électriques pendant la nuit, entre octobre et janvier. L'œstrus complet apparaît chez les femelles au bout de 38-64 jours et des coïts ont lieu du 59e au 70e jour. Les cellules interstitielles du testicule sont stimulées ; la copulation s'observe à partir du 59e jour, mais le sperme mûr n'est produit qu'au bout de 71 jours. — M. **R. N. Salaman** : *Analyse et synthèse de certaines affections du type mosaïque.* — M. **C. C. John** : *L'origine des érythrocytes du Hareng* (Clupea harengus). Pendant les 5 premiers mois du développement, le liquide circulatoire du Hareng est incolore et ne semble contenir aucun globule. Les hématies ne s'observent que plus tard ; elles se forment d'abord dans l'endocarde : les cellules de celui-ci constituent un syncytium spongieux dans lequel apparaissent de nombreux noyaux de grande taille qui émigrent vers la surface libre ; autour d'eux s'isole du cytoplasme, et les cellules ainsi formées se détachent dans le liquide vasculaire où elles évolueront en hématies. Plus tard, lorsque la rate sera développée, les globules rouges se formeront dans cet organe.

Séance du 21 Avril 1932.

M. **H. W. McKenny Hughes** : *Mélanisme des Lépidoptères.* Des femelles du Géométride *Selenia bilunaria* ont été récoltées en différentes stations du sud et de l'est de l'Angleterre, aussi loin que possible des régions industrielles ; deux générations ont été nourries avec des feuilles normales d'Aubépine, et quatre générations suivantes sur des feuilles d'Aubépine traitées par des sels de plomb ou de manganèse ; aucun des 3.265 Papillons obtenus ne présentait de mélanisme. — MM. **S. A. Adler** et **O. Theodor** : *Recherches sur le kala-azar méditerranéen. Leishmanioses viscérales des Chiens.* Sur 100 Chiens examinés à Malte de juin à novembre, 11 étaient atteints de kala-azar ; 9 de ces malades présentaient de la séborrhée et une dépilation partielle. Des *Phlebotomus perniciosus* ont contracté des *Leishmanioss* en se nourrissant sur la peau des Chiens. — M. **R. H. Stoughton** : *Morphologie et cytologie de* Bacterium malvacearum *E.F.S.* (2).

Séance du 5 Mai 1932.

M. **A. V. Hill** : *Nouvelle analyse de la production de chaleur par le nerf.* — MM. **N. Gavrilescu, A. P. Meiklejohn, R. Passmore** et **R. A. Peters** : *Métabolisme des hydrates de carbone chez les Oiseaux.*

R.

SOCIÉTÉ DE BIOLOGIE

1re Semestre 1932.

MM. **F. Maignon** et **D. Croizé** : *Influence de l'électrolyse prolongée sur les solutions d'oxydases.* — Les solutions d'oxydases se comportent comme les diastases hydrolysantes, sous l'influence de l'électrolyse prolongée à l'aide d'un courant de 110 volts, mais avec cette différence que l'entraînement a lieu vers la cathode au lieu de se faire vers l'anode. Le coagulum se produit dans la branche négative au lieu d'apparaître dans la branche positive. — M. **Raymond-Hamet** : *Sur la toxicité de la digoxine par voie veineuse et par voie œsophagienne.* Alors que la dose léthale de digitaline cristallisée de Nativelle est la même par voie veineuse et par voie œsophagienne, la dose mortelle de digoxine pour le Chien, est plus faible quand on l'injecte dans les veines que quand on l'introduit dans l'œsophage. — M. **D.-T. Barry** et M. et Mme **Chauchard** : *Les modifications de l'excitabilité du nerf grand splanchnique sous l'influence de l'adrénaline.* Toutes les fois que, par un procédé quelconque on empêche le déversement de la sécrétion glandulaire dans la circulation générale, ce qui a pour effet d'abaisser la teneur en adrénaline dans le sang circulant, on note une augmentation de la chronaxie du nerf splanchnique et de la constante de temps de l'appareil vasoconstricteur. Au contraire, lorsqu'on augmente le taux de l'adrénaline par injection de cette substance, c'est une diminution des deux constantes de temps que l'on observe.

Le Gérant : Gaston Doin.

Sté Gle d'Imp. et d'Edit., 1, rue de la Bertauche, Sens. — 10-32.